

Anssi Luhtamäki

Kiinteistöjen energiankulutuksen mittaus ja säätö Arduinolla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

13.11.2017

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Anssi Luhtamäki Kiinteistöjen energiankulutuksen mittausta ja säätö Arduinoilla 23 sivua + 4 liitettä 13.11.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Elektroniikka ja terveydenhuollon tekniikka
Ohjaaja	Lehtori Kai Lindgren
<p>Insinööriyössä selvitettiin Arduino-tietokoneen soveltuvuutta kiinteistöjen energianmittaukseen ja säätöön. Suomessa kuluu neljännes kaikesta käytetystä energiasta rakennusten lämmittämiseen, joten säätötoimenpiteet lämmityspuolella vaikuttavat merkittävästi kokonaisenergiankulutukseen.</p> <p>Tarkoituksena oli valita kaksi tai kolme kiinteistöä, joihin asennetaan Arduino mittaus- ja säätölaitteet. Työn edetessä todettiin, että Arduinon järjestelmän tietoturvan ja toisaalta toimintavarmuuden kanssa oli niin merkittäviä ongelmia, että ei ollut mielekästä jatkaa tuotteen kehittämistä. Tämän vuoksi todettiin, että on järkevämpää käyttää jo markkinoilla olevia ratkaisuja taloyhtiöiden energiansäästöprojekteissa. Koska työn edetessä todettiin, että Arduino-tietokonetta ei käytetä alkuperäisen suunnitelman mukaan, jouduttiin myös työn näkökulmaa muuttamaan työn edetessä.</p> <p>Tässä työssä käydään läpi taloyhtiöiden energiansäästö hankkeita laajemmassa mittakaavassa ja esitellään Ouman Oy:n käyttämää etähallinta tekniikkaa.</p> <p>Johtopäätöksenä Arduino-tietokoneen käyttämisestä etähallintaan todettiin, että Arduino-tietokone saadaan mittaamaan ja säätämään nykyisiä lämmitysjärjestelmiä, mutta kustannuksellisesti ja tietoturvan kannalta ei ole mielekästä rakentaa tämän kaltaista järjestelmää vaan on järkevämpää käyttää jo markkinoilla olevia ratkaisuja.</p> <p>Taloyhtiöissä ja muissa kiinteistöissä on merkittävä energiansäästöpotentialiaali ja etähallintatekniikan käyttöönotto antaa kustannustehokkaan tavan seurata kiinteistöjen pitkän aikavälin kehitystä. Lisäksi, kun kohteissa ei tarvitse fyysisesti käydä paikan päällä toteuttamassa säätöjä, vaan säädöt voidaan tehdä työpisteeltä, saadaan tätä kautta merkittävää kustannussäästöä.</p>	
Avainsanat	Arduino, energianmittaus, säätö, kiinteistö

Author Title	Anssi Luhtamäki Energy consumption and control in estate with Arduino
Number of Pages Date	23 pages + 4 appendices 24 October 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Specialisation option	Electrical and Healthcare Engineering, Electronics
Instructor	Lector Kai Lindgren
<p>In this Thesis was studied Arduino-computer applicability to measure and control properties energy consumptions. In Finland one fourth of the used energy is used to buildings heating. So controlling the heating is a significant impact to energy consumption in Finland.</p> <p>Purpose was choose two or three property which would be implement Arduino measure and control devices. During the work was find out, that Arduino system wasn't suitable for this kind of use because of problems with security and stability. For those reasons decision was maid that it's not practical to develop new system, and it's better use systems that are already at the market. Because of those reason, view point of the work had to be change during the work.</p> <p>In this work it's viewed housing cooperatives energy saving projects in a wider perspective and Ouman Oy remote control technic is presented.</p> <p>In conclusion is that with Arduino-computer is possible to measure and control heating systems but for cost wise and security reasons it's not practical to build a new system. It's better use systems that are already at the market.</p> <p>Housing cooperatives and other properties is a lot of energy saving potential and remote control technic will give cost effective way to follow long term development. More of because there is no reason to physically go at place to make adjustments savings are even more greater.</p>	
Keywords	

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Energiansäästötoimenpiteet	2
3	Esimerkkikohteet	3
4	Laitteisto	5
4.1	IoT eli esineiden internet	5
4.2	Arduino Uno R3	6
4.3	Modeemi	7
4.4	Muistikortinlukija	8
4.5	Modbus	9
4.6	Ouman EH-201L-säätöautomaattikka	10
5	Arduinon kytkentä ja ohjelmointi	10
6	Nykyiset markkinoilla olevat järjestelmät	12
6.1	Ouman Ounet	13
6.2	Tekninen kuvaus järjestelmästä	16
6.3	Ounet- verrattuna Arduino-järjestelmä	17
7	Mittaustulokset ja niiden hyödyntäminen	18
8	Projektin vaiheet	21
9	Yhteenveto	21
	Lähteet	23

Liitteet

Liite 1. Tietojen lukeminen ja tallentaminen

Liite 2. Ohjelma joka lähettää tiedot virtuaalipalvelimelle

Liite 3. Esimerkki toimenpidesuunnitelmasta

Liite 4. Kuvissa 5 ja 6 käytetyt symbolit

Lyhenteet

APN	Access Point Name; yhteyspisteen nimi Internetpalveluntarjoajan yhteysosoite, jonka kautta modeemi muodostaa yhteyden internetiin.
AT	Kieli, jota graafisetkin käyttöliittymät käyttävät modeemien ohjaukseen.
CSV	Comma-separated values. Tiedostomuoto, jolla tallennetaan yksinkertaista taulukkomuotoista tietoa tekstitiedostoon.
DSL	Digital Subscriber Line; digitaalinen tilaajayhteys on kattonimitys joukolle tietoliikennetekniikoita, joilla tietoa siirretään perinteisen lankapuhelinverkon kaapelissa eli puhelinlinjassa hyödyntäen puhetaajuuksia korkeampia taajuuksia.
EC-puhallin	Electronically Commutated; elektronisesti kommutoitu. EC-puhallin voidaan kytkeä suoraan vaihtovirtaverkkoon, ja kommutoinnin ansiosta elektroniikka muuttaa vaihtovirran tasavirraksi ja ohjaa puhallinnopeutta säätämällä moottorin saamaa virtaa.
GPRS	General Packet Radio Service. Matkapuhelinverkossa toimiva pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu.
IoT	Internet of Things; esineiden internet, tarkoittaa internetiin liitettyjä laitteita.
Lisälämmitys	Käytetään huipputehotilanteissa, joihin lämpöpumpun teho ei enää riitä. Koska hetkiä, jolloin tarvitaan 100 %:n lämmitysteho on vuodessa hyvin vähän, ei ole järkevää investoida lämpöpumppuun, joka peittää 100 %:n tehontarpeesta.

Modbus	Modiconin vuonna 1979 julkaisema sarjaliikenneprotokolla.
Nimellisteho	Lämpöpumpun teho on riippuvainen keruunesteen ja lämmitysverkoston lämpötilaerosta. Nimellisteho kertoo lämpöpumpun vakio-olosuhteessa 0°/35°C.
Ouman	Suomalainen automatiikkavalmistaja.
Ounet	Selaimessa toimiva etähallintapalvelu.
RTU	Remote Terminal Unit; käytetään yhdistämään valvontatietokone kenttälaitteeseen.
Tehostusjakso	Ilmanvaihdon tehostamisjakso, jolloin ilmaa vaihdetaan tehostetusti.
TX ja RX	Tulevat sanoista Transmit (lähettää) ja Recive (vastaanottaa). Käytetään tiedonsiirrossa GRPS- modeemissa
Ubidots	Ilmainen pilvipalvelualusta, johon voidaan kytkeä mittaus- ja säätölaitteita ja tarkastella mitattua tietoa.
VPN	Virtual Private Network; virtuaalinen erillisverkko. Muodostaa salatun verkkoyhteyden kahden suljetun verkon välillä julkisen verkon yli.

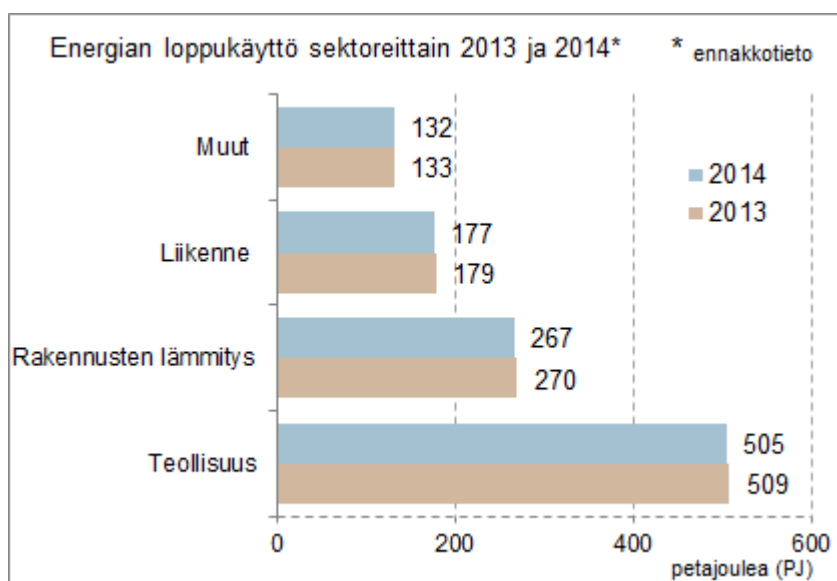
1 Johdanto

Työn tarkoituksena on tutkia Arduino-tietokoneen käyttöä kiinteistöjen energiankulutuksen mittaamiseen ja säätöön. Tavoite on löytää kustannustehokas tapa liittää kiinteistö etävalvonnan piiriin, jotta voidaan seurata kiinteistön energiankäyttöä pitkällä aikavälillä ja tehdä säätöjä etänä. Etähallinta tehostaisi energian käytön hallintaa ja lisäisi säätötöiden tarkkuutta. Tarkoituksena on toteuttaa muutamia esimerkkikohteita, joissa testataan laitteiston toimivuutta ja soveltuvuutta erityyppisissä kohteissa. Työ tehdään yhteistyössä Suomen Energiainsinöörit Oy kanssa. Työn aikana tehty tuotekehitys on kokonaisuudessaan joko Suomen Energiainsinöörit Oy:n tai Anssi Luhtamäen omaisuutta. Suomen Energiainsinöörit pidättää oikeuden vaatia työn salaamista niiltä osin, kun työssä syntyy liikesalaisuuden piirissä olevaa tietoa.

Suomessa kiinteistöjen lämmitysenergiankulutus on merkittävä kuluerä suurille kiinteistöomistajille niin julkisella puolella kuin yksityisille sijoittajille. Kuitenkin tietotekniikan kehittyminen antaa mahdollisuuden aina vain reaaliaikaisempaan ja tarkempaan mittaamiseen ja säätöön näissä järjestelmissä. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, kuinka näitä mittauksia ja optimointia voitaisiin tehdä Arduino-ohjelmointialustalla.

Varsinkin taloyhtiöissä, joissa ei ole ammattimaista teknistä isännöintiä on paljon ongelmia lämmön säädön kanssa. Kehittyvät etäpalvelut antavat tähän tehokkaita ja kustannuksiltaan kohtuullisia työkaluja tehostaa valvontaa. Tyypillisesti taloyhtiössä on vain nostettu lämmityskäyrää jonkun asukkaan pyynnöstä eikä ole kiinnitetty lainkaan huomiota lämmönjakoverkon säätöön ja tasapainotukseen. Mikäli Arduino osoittautuu kustannuksiltaan ja muilta ominaisuuksiltaan toimivaksi ratkaisuksi, voidaan järjestelmän ympärille kehittää liiketoimintaa.

On myös yhteiskunnallisesti merkittävää, mikäli taloyhtiöissä saadaan säästettyä energiaa. Kuten kuvaajasta 1 voidaan nähdä, rakennusten lämmitys kuluttaa noin neljänneksen kaikesta energiasta Suomessa. (1.)



Kuvaaja 1 Energiankäyttö Suomessa. (1)

2 Energiansäästötoimenpiteet

Kun kiinteistön omistaja toteaa, että kiinteistön energiankulutusta, olisi hyvä kartoittaa tarvitsee siihen yleensä palkata erillinen alaan perehtynyt yritys. Kun sopiva yhteistyökumppani on löytynyt, aloitetaan selvitystyö tutustumalla kohteeseen ja hankkimalla mahdollisimman yksityiskohtainen tieto kiinteistön nykyisestä tilanteesta. Tämän jälkeen saatujen lähtötietojen pohjalta laaditaan raportti, josta selviää nykyinen tilanne ja tehdään toimenpide-ehdotukset. Tämän raportin pohjalta voidaan sitten alkaa toteuttaa toimenpideohjelmia.

Ennen kuin lähdetään rakentamaan teknisiä ratkaisuja, on kiinteistöjen omistajille laadittava toimenpide suunnitelma, josta selviää, mitä mahdollisuuksia kiinteistössä on tehdä energiansäästötoimenpiteitä ja eri säästötoimenpiteiden kustannusvaikutukset. Esimerkkisuunnitelma on liitteessä 3.

Liitteessä 3 on käyty läpi eri energiansäästö vaihtoehtojen kannattavuutta esimerkkitilanteessa. Mikäli yritys päättää ryhtyä tekemään muutoksia nykyiseen lämmöntuottojärjestelmäänsä on automaatiojärjestelmän asentaminen ensiarvoisen tärkeää, jotta tehtyjen säästötoimenpiteiden toteutumista voidaan seurata ja todentaa.

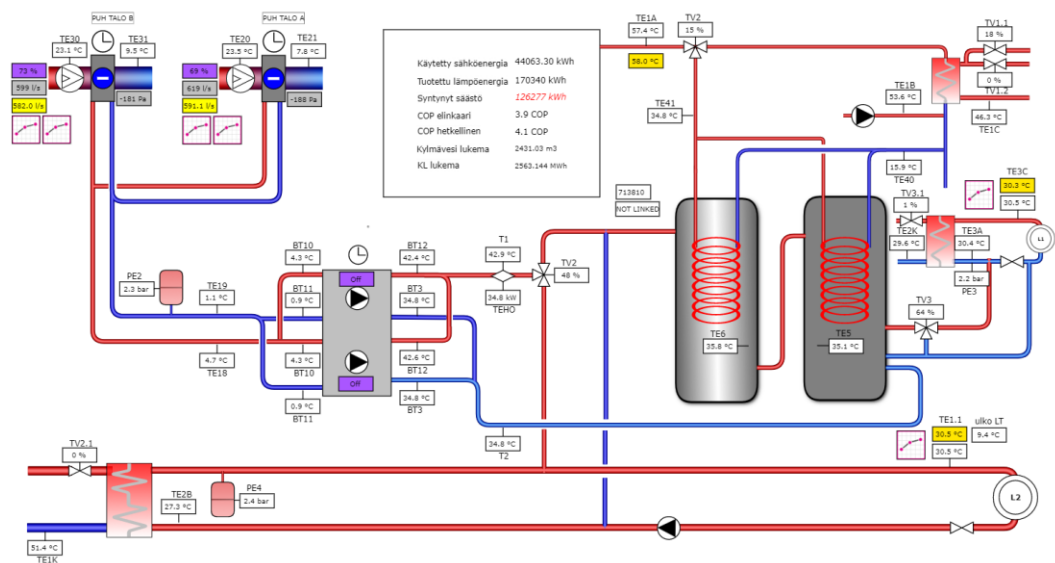
Mikäli vielä huonetiloihin asennetaan lämpötila-anturit, saadaan seurattua huoneistojen lämpötilaa ja vielä edelleen tehostettua kiinteistöjen energiankäyttöä.

3 Esimerkkikohteet

Valittiin kolme kohdetta, jossa pyrittiin etähallintajärjestelmää hyödyntäen tehostamaan kiinteistöjen energiankäyttöä. Kohteet olivat taloyhtiöitä, joihin oli jo tehty energiantuot-tojärjestelmän uudistaminen.

Taloyhtiö 1

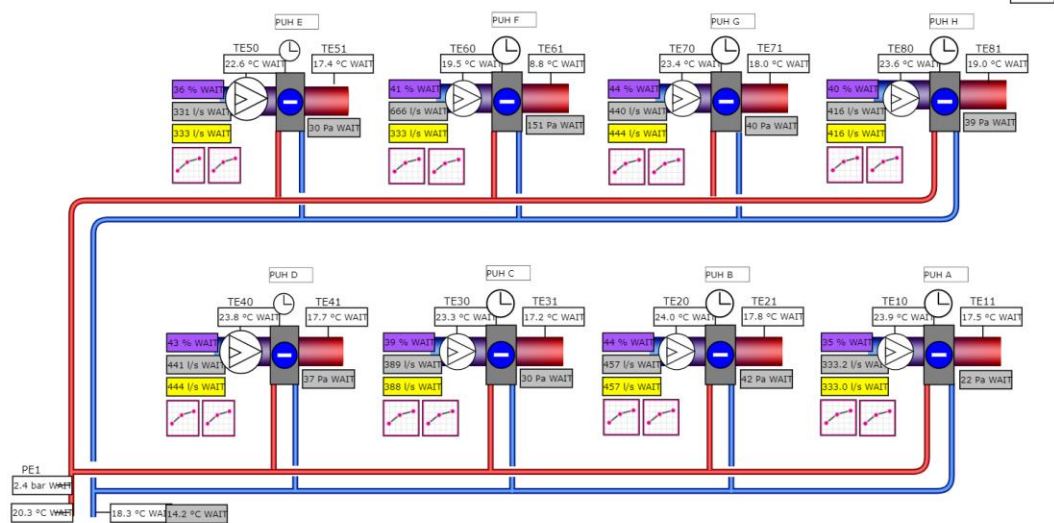
Taloyhtiö sijaitsee Lahdessa ja koostuu kahdesta erillisestä kerrostalosta, johon asen-nettu lämmöntalteenottojärjestelmä kaukolämmön rinnalle. Järjestelmä on kuvattu ku-vassa 11.



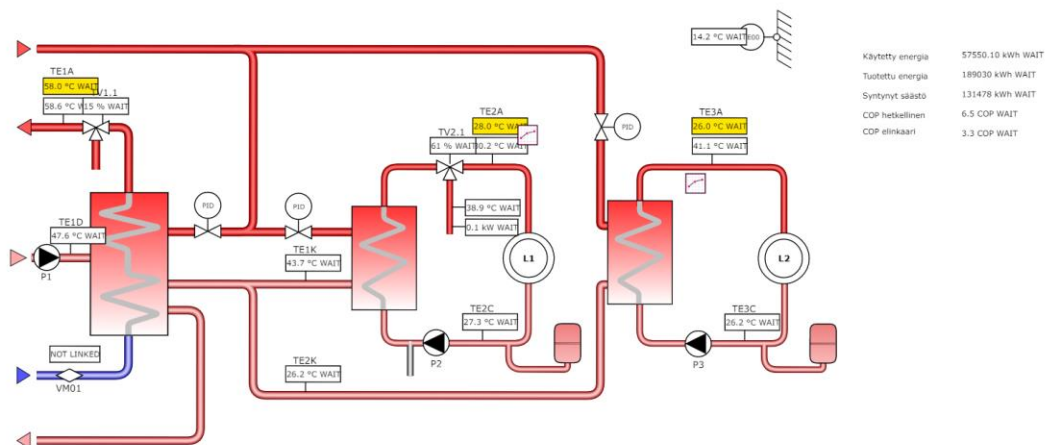
Kuva 1, Ounet-kytkentäkaavio.

Taloyhtiö 2

Taloyhtiö sijaitsee Vantaalla ja koostuu kahdesta erillisestä kerrostalosta, johon asen-nettu lämmöntalteenottojärjestelmä kaukolämmön rinnalle. Järjestelmä on kuvattu ku-vissa 12 ja 13. Lisäksi kohteeseen oli asennettu aurinkosähköjärjestelmä.



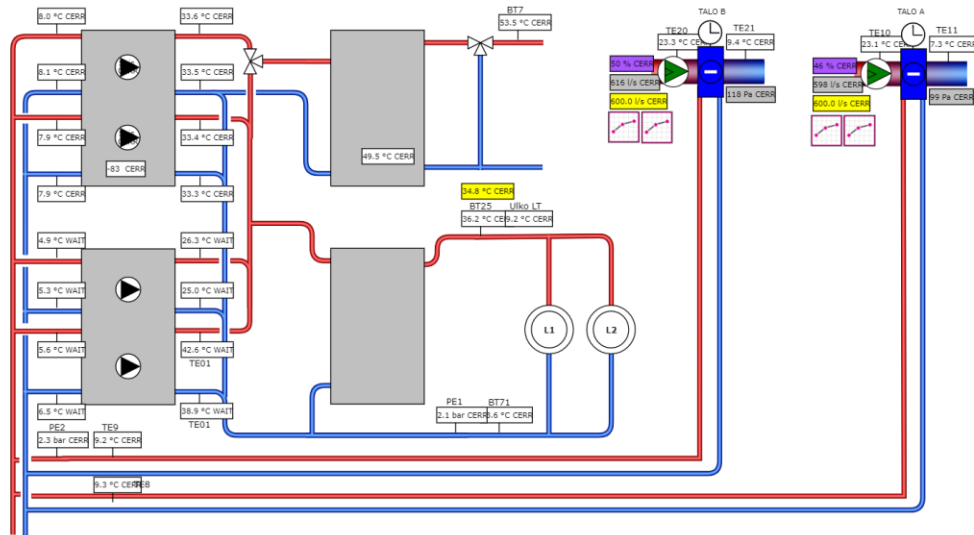
Kuva 2, Ilmanvaihtokoneiden kytkentäkaavio.



Kuva 3, Kaukolämmön kytkentäkaavio.

Taloyhtiö 3

Taloyhtiö sijaitsee Järvenpäässä ja koostuu kahdesta kerrostalosta. Kohteeseen oli asennettu maalämpöjärjestelmä sekä poistoilman lämmöntalteenotto. Järjestelmän kytkentäkaavio on kuvattu kuvassa 14.



Kuva 4, Maalämpö ja poistoilma lämmöntalteenottojärjestelmä.

4 Laitteisto

Koska Arduino-tietokone on verrattain edullinen, ja sille on saatavissa paljon valmiita ohjelmakirjastoja, päätettiin se valita tutkittavaksi laitteistoksi. Arduino-tietokoneen pohjalle rakennettiin etähallintajärjestelmä, jolla luettiin anturitietoa modbus-väylän kautta kiinteistön taloautomaatiikasta. Saatu tieto siirrettiin GPRS-modeemilla Ubidots-pilvipalveluun, josta asiakas pystyi seuraamaan mitattuja tietoja. Työn aikana tuli kuitenkin selväksi, että Arduinon käyttäminen suunnitellulla tavalla ei ole järkevää ja toteutus päätettiin tehdä jo markkinoilla olevilla järjestelmillä. Kuitenkin ennen kuin Arduinon soveltumattomuus todettiin, rakennettiin prototyyppi ja se on kuvattu periaatetasolla. Lisäksi tehtiin testitarkoituksessa mittauksia. Seuraavissa kappaleissa esitellään laitteisto.

4.1 IoT eli esineiden internet

Esineiden internetillä tarkoitetaan internetin laajenemista laitteisiin ja koneisiin, jolloin niitä voidaan valvoa ja tarvittaessa ohjata verkkoyhteyden ylitse. Tämä mahdollistaa aiempaa paljon suuremman tietomäärän keräämisen ja näin ollen paremman tiedon

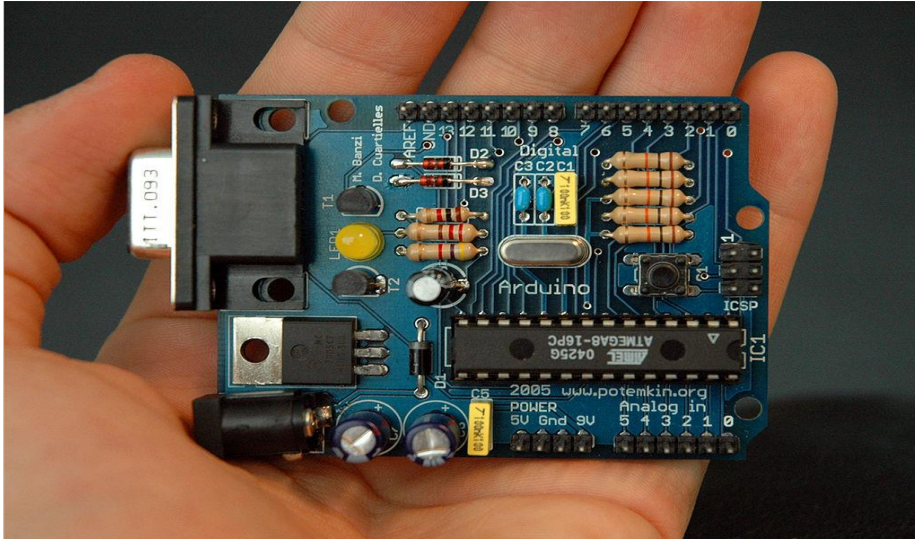
verkkoon kytkettyjen laitteiden toiminnasta. Tarjolla olevat pilvipalvelut tarjoavat erinomaisten alustan tiedon keräämiselle ja tallentamiselle.

Tässä projektissa haluttiin kerätä tietoa lämmöntuotto- ja jakojärjestelmistä. Tyypillisesti tietoa on ollut saatavissa vain kuukausitasolla, jolloin säätöjen tekeminen on perustunut lähinnä yksittäisten mittaustulosten perusteella tehtyihin säätöihin. Uudet tiedonkeruu mahdollisuudet tulevat mullistamaan tämän markkinan, koska menetelmät antavat mahdollisuuden kerätä suuren määrän mittaustietoa, kustannustehokkaasti. (7.)

4.2 Arduino Uno R3

Arduino perustuu avoimeen lähdekoodin mikro-ohjaimeen ja ohjelmointialustaan sekä Atmel AVR-mikro-ohjaimeen joka on 8 bittinen, alustaan voidaan kytkeä erilaisia antureita, moottoreita, LED-valoja, sillä voidaan myös ohjata esimerkiksi valaistusta, lämmitystä taikka ilmanvaihtoa. Ohjelmointi tapahtuu Arduinon omalla ohjelmointikielellä, joka perustuu C++:aan. (2.)

Kuvassa 1 näkyy Arduino-tietokone, joka on alun perin Olivetin opiskelijoille perustama projekti mutta sittemmin, koska tekninen määrittely on julkista, on valmistus levinnyt laajalle. Koska valmistus on laajaa on laitteiden hinnat painuneet alas ja siksi Arduino soveltuu hyvin käytettäväksi kehitysprojekteissa.



Kuva 5 Arduino-pirilevy.

4.3 Modeemi

Modeemina käytettiin SIMCom sim900 -modeemia. Se on hinnaltaan edullinen modeemi, jossa on riittävä tiedonsiirto kapasiteetti. Modeemille on paljon valmiita ohjelmia, joten tämä puolsi myös laitteen käyttöä. Toiminta perustuu yksinkertaiseen GPRS viestintään AT-komennoille. Kytkenät tehdään modeemin TX- ja RX-pinneihin. TX-pinni vastaa lähettämisestä ja RX-pinni vastaanottamisesta. Taulukossa 1 on listattu käytettyjä AT-komentoja.

Taulukko 1, AT-komennot ja niiden selitykset. (3.)

AT+CPIN=1234	Syötetään PIN- koodi
AT+CPWD="SC","old","new"	Vaihdetaan PIN-koodi vanhasta uuteen
AT+CLCK="SC",0,"1234"	Poistetaan Pin-koodi
AT&V	Tila
ATI	Tila Valmistaja, Malli, Versio, IMEI, mahdollisuudet)
AT+COPS=?	Vapaana olevat verkot 0-Tuntematon/2-Nykyinen/3-Estetty
AT+CSQ	Signaalin voimakkuus.
ATD*99#	Yhteysosoite
AT+CGATT?	Yhdistää modeemin verkkoon
AT+CSTT="data.dna.fi"	Asettaa yhteyspisteen internettiin
AT+CIICR	Käynnistää GPRS yhteyden
AT+CIFSR	Hakee IP-ositteen
AT+CIPSPRT=0	Käynnistää tiedonsiirron

AT+CIP- START="tcp", "things.ubidots.com", "80"	Käynnistää tiedonsiirron pilvipalveluun
AT+CIPSEND	Lopettaa tiedonsiirron
AT+CIPCLOSE	Sulkee internetyhteyden

AT-komennot eli toiselta nimeltään Hayes-komennot on komentokieli, jonka alun perin kehitti Dennis Hayes käytettäväksi Hayes Smartmodeemi 300:lle vuonna 1981.

Komentosarja käsittää joukon tekstikomentoja, joita yhdistämällä voidaan suorittaa eri toimintoja modeemeilla, *esimerkiksi soittaa, katkaista yhteys tai muuttaa yhteysasetuksia*. Komennot jäivät jo taka-alalle, kun DSL ja kaapelimodeemit yleistyivät mutta tekivät paluun, kun GPRS-modeemit alkoivat yleistyä. (4.)

4.4 Muistikortinlukija

Muistikortinlukijana käytettiin HanRun HR911105A ethernet piirilevyä. Laite toimii lisälevynä suoraan Arduinon päällä ja on pienikokoinen sekä edullinen. Valmiita ohjelmointikirjastoja on saatavilla paljon, joten ohjelmointiin ei kulu turhaan aikaa. Tässä toteutuksessa käytettiin vain laitteen muistikortinlukijaa, vaikka piirilevyssä onkin myös lähiverkkomodeemi. Kuvassa 2 on esitelty modeemi ja muistikortinlukija



Kuva 6 SIM900 GPRS-modeemi (4.)

4.5 Modbus

Vuonna 1979 Modicon julkaisi sarjaliikenneprotokollan nimeltä Modbus. Vuosien varrella Modbusista on käytännössä muodostunut standardi teollisuudessa. Modbussin laaja suosio selittyy sillä, että se on avoin ja siirtää raakadataa ilman laitevalmistajan rajoituksia.(5.)

Modbus mahdollistaa monien samaan verkkoon kytkettyjen laitteiden välisen kommunikoinnin, esimerkiksi järjestelmän, joka mittaa lämpötilaa sekä kosteutta ja toimittaa tulokset tietokoneelle.

Modbus-protokollaa käytetään usein yhdistämään valvontatietokone kenttälaitteeseen (RTU) keskitetyn hallinnan järjestelmissä.

Sarjamuotoiselle liikenteelle on olemassa kaksi muunnelmää erilaisilla numeerisen datan esitysmuodolla ja hiukan erilaisilla protokollan yksityiskohdilla. Modbus RTU on kompakti binaarinen datan esitysmuoto. Modbus ASCII on tekstipohjainen ja ihmisen ymmärrettävässä muodossa. Molemmat muunnelmat käyttävät sarjaliikennettä. RTU-formaatissa käytetään tiedon eheyden tarkistukseen CRC-tarkistussummaa, kun taas ASCII-formaatti käyttää longitudinal redundancy check -tarkistussummaa. Solmut, jotka on määritetty käyttämään RTU-muunnelmää, eivät kommunikoi ASCII-muunnelmää käyttävien solmujen kanssa, ja päinvastoin.(5.)

TCP/IP-yhteyksille (esimerkiksi ethernet) on olemassa uudempi muunnelma, Modbus/TCP. Se on helpompi toteuttaa kuin Modbus/ASCII tai Modbus/RTU, koska se ei tarvitse tarkistussumman laskentaa.(5.)

Tietomalli ja toimintokutsut ovat samanlaisia kaikille kolmelle yhteysprotokollalle; vain kapselointi on erilainen.(5.)

Jokaiselle Modbus-väylään liitettävälle laitteelle annetaan yksilöllinen osoite. Jokainen laite voi lähettää Modbus-komennon, vaikkakin yleensä vain yksi isäntä-laite tekee sitä. Modbus-komento sisältää sen laitteen Modbus-osoitteen, jolle komento on tarkoitettu.

Vain tämä laite suorittaa komennon, vaikka kaikki laitteet voivat vastaanottaa komennon. Kaikki Modbus-komennot sisältävät tarkisteen, jolla varmistetaan komennon kulkeminen virheettömänä. Modbusin peruskomennot voivat käskää kenttälaitetta vaihtamaan jonkin rekisterin arvoa, tai yhtä hyvin komentaa laite lähettämään takaisin yhden tai useamman arvon sen rekistereistä. (5.)

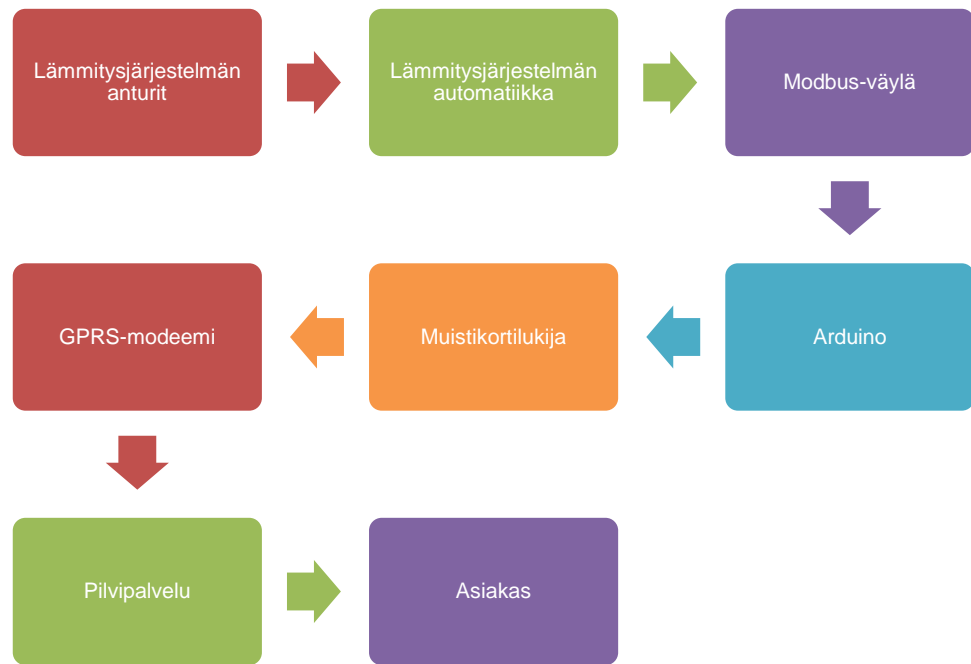
4.6 Ouman EH-201L-säätöautomaatiikka

OUMAN EH-201/L on digitaalinen lämmönsäädin kaikenkokoisiin kiinteistöihin. EH-201/L:n on monipuolinen ja avoin, joten se soveltuu säätimeksi moniin vesikiertoisin lämmitysjärjestelmiin.

Ouman on perustettu 1980 -luvulla, ja se on saavuttanut Suomen kiinteistömarkkinoilla merkittävän aseman. Kehitys alkoi pientaloista mutta hyvin nopeasti toiminta laajentui myöskin isoihin kiinteistöihin. (6.)

5 Arduinon kytkentä ja ohjelmointi

Jotta tiedot lämmitysjärjestelmästä saadaan siirrettyä verkkoselaimeen käyttäjälle luettavaan muotoon, täytyy analogiset mittaustiedot muuttaa digitaalisiksi ja siirtää ne pilvipalveluun. Kuvassa 3 on prosessi kuvattu yksinkertaistettuna. Laitteistoa käytettiin testaamaan esineiden internetin soveltuvuutta lämmitysjärjestelmien mittaukseen ja säätöön. Koska markkinoilla oli vielä projektin alkaessa hyvin vähän laitteistoja, jotka antoivat etäkäyttömahdollisuuden lämmitysjärjestelmiin vaikutti Arduino antavan hyvän mahdollisuuden kehittää etähallintajärjestelmää.

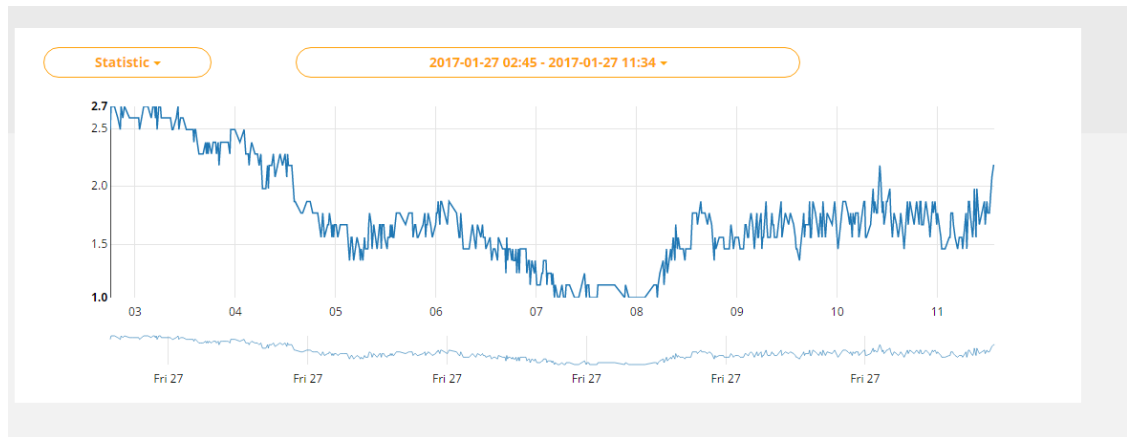


Kuva 7 Kytkentäperiaate Arduino-etähallintajärjestelmälle.

Arduino liitetään Modbus-väylän avulla olemassa olevaan Oumanin lämmitysjärjestelmän säätöautomatiikkaan, josta luetaan halutut anturitiedot muistikortille joka minuutti. GSM-modeemi aukaisee internetyhteyden ja lähettää muistikortilla olevat tiedot pilvipalvelimelle. Palvelimella oleva ohjelma muuntaa saadun tiedon graafiseen muotoon jota asiakas voi lukea.

Pilvipalveluna käytetään Ubidots-virtuaalipalvelinta, joka on ilmainen palvelu kehitysvaiheessa. Palvelussa määritellään projekti ja projektille halutut sensorit. Kirjautumalla palveluun voidaan näytöltä seurata reaaliajassa haluttujen anturien arvoja. Kuvassa 4 on esitetty ulkolämpötilan kehitystä yhden vuorokauden aikana.

Kun verrataan esimerkiksi ulkolämpötilan muutosta suhteessa menoveden lämpötilan muutokseen, voidaan päätellä lämmitysjärjestelmän toimivuus. Mikäli järjestelmä ei vastaa suunnitteluarvoja, on haluttujen muutosten tekeminen helpompaa kuin vain hetkelisten arvojen perusteella.



Kuva 8, Ulkolämpötila-anturin lukemaa yhden vuorokauden ajalta

Koska Arduino perustuu avoimeen lähdekoodiin, ei varsinaisesti tarvinnut kirjoittaa ohjelmointikoodia vaan kerätä valmiita kirjastoja ja yhdistellä niitä. Käytetyt ohjelmat ovat liitteenä 1 ja 2.

Lähtökohtana ohjelmoinnissa oli pitää käytetty koodi mahdollisimman yksinkertaisena ja helposti luettavana.

Ohjelma rakentui niin, että ensimmäisessä vaiheessa luetaan halutut sensoritiedot Modbus-väylästä. Luetut tiedot tallennetaan muistikortille csv-tiedostoon, josta ne lähetään virtuaalipalvelimelle GPRS-modeemilla. Virtuaalipalvelimella saadut tiedot muutetaan graafiseen muotoon.

6 Nykyiset markkinoilla olevat järjestelmät

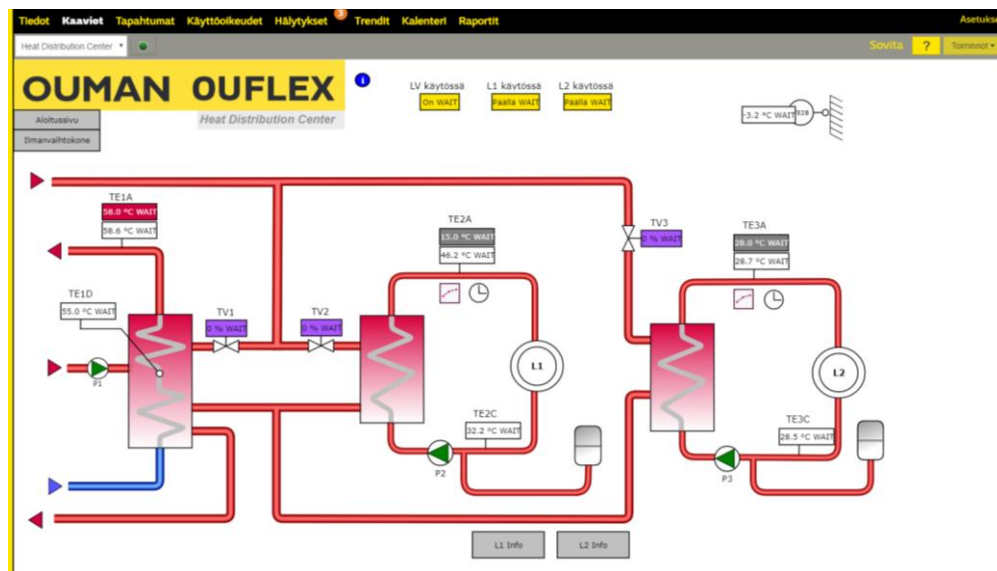
Työn aikana todettiin, että ei ole järkevää kehittää omaa järjestelmää, koska markkinoilla on saatavissa edullisia ja tarkoitukseen hyvin soveltuvia järjestelmiä. Näiden järjestelmien tietoturva, ohjelmointi ja toimivuus ovat merkittävästi parempia, kun kohtuullisella ajankäytöllä kannattaa itse rakentaa.

Päädyttiin käyttämään Ouman Oy kehittämää Ounet- järjestelmää. Sen etuja Suomen markkinoilla on yleinen tunnettuus, yhteensopivuus vanhojen järjestelmien kanssa ja kustannustehokkuus. Lisäksi yhtiön järjestelmä käyttää VPN-yhteyttä, jolloin tietoturva on vähintäänkin kohtuullisella tasolla. Myös järjestelmän automatiikka toimii ilman, että

sen tarvitsee olla yhteydessä internetiin jolloin mahdolliset ongelmat tietoverkkoyhteyksissä eivät häiritse lämmitysjärjestelmän toimintaa. Järjestelmä mahdollistaa myös asiakkaille mahdollisuuden laajentaa saman automatiikan taakse monia toimintoja, kuten ovienlukitusjärjestelmät, valaistuksenohjauksen, autopaikkojen lataukset ja saunojen kello-ohjaukset.

6.1 Ouman Ounet

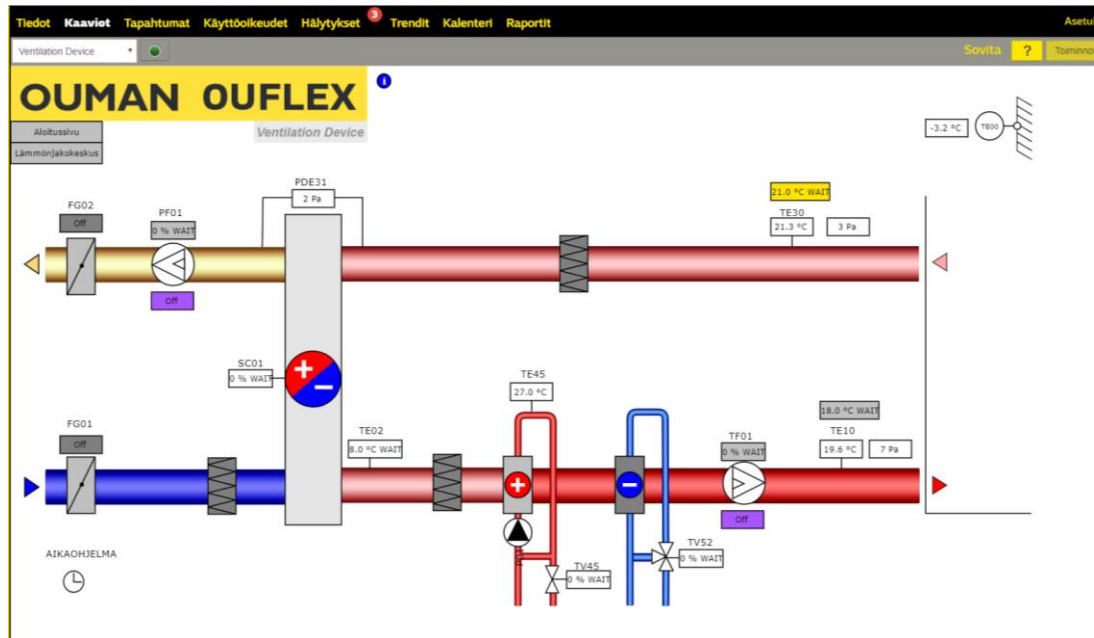
Ouman Ounet on talotekniikan etähallintajärjestelmä, joka toimii verkkoselaimessa ja näin ollen mahdollistaa useiden eri toimijoiden pääsyn samaan hallintajärjestelmään ajasta ja paikasta riippumatta.



Kuva 9, Ounet näkymä lämmitysjärjestelmästä. (8.)

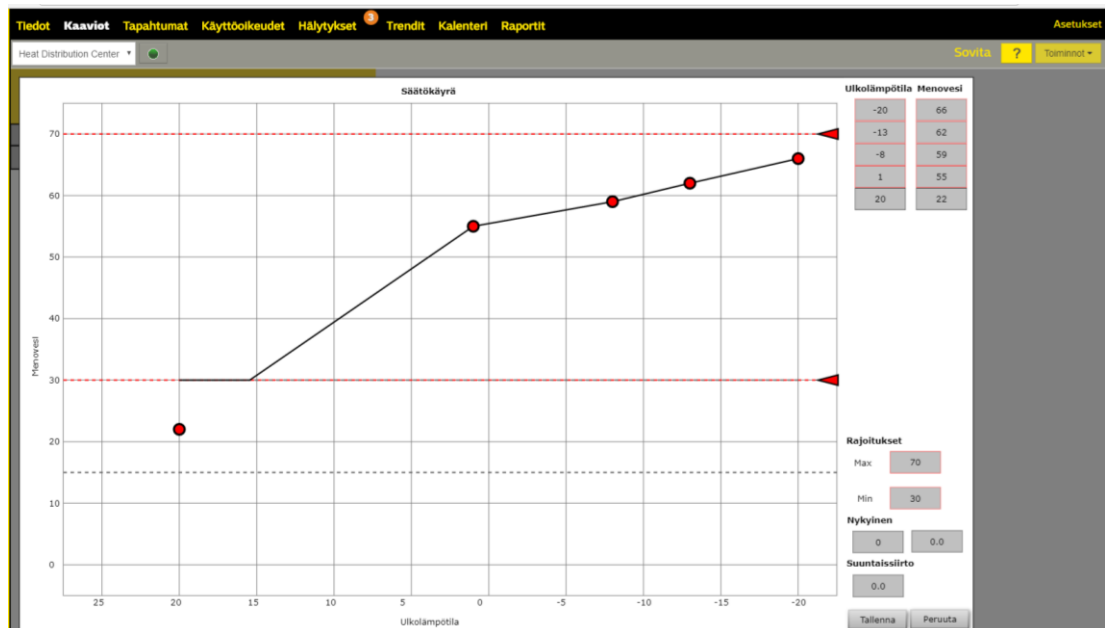
Kirjauduttaessa Ounetiin saadaan aluksi selkeäkuva, josta nähdään PI-kaavio kyseiseen järjestelmään kytketyistä laitteista ja mittalaitteista. Tästä voidaan myöskin säätää ja tarkkailla järjestelmän toimintaa. Kuvassa 5 on kuvattuna kaukolämpöjärjestelmä, jossa on käyttövesivaihdin sekä kaksi lämmityspiiriä. Kuvasta 5 selviää myös, että järjestelmä toimii ja säätöarvot ovat halutulla tasolla. Mikäli muutoksiin olisi tarvetta, voidaan asetusarvoja helposti muuttaa ja seurata niiden vaikutusta. Tällä tavoin järjestettynä on lämmitysjärjestelmän säätäminen on tehokasta ja perustuu mitattuun tietoon. Tämä on tärkeää, koska todella usein kiinteistöissä ei ole selkeää kuvaa järjestelmän todellisesta

toiminnasta. Kun mitattu pitkän aikavälin tieto puuttuu, joudutaan säätöjä tekemään arvauksien perusteella ja tämä johtaa tilojen yllämmittämiseen ja suurempaan energiankulutukseen. Liitteessä 4 on selitettynä kuvissa 5 ja 6 esiintyvät symbolit.



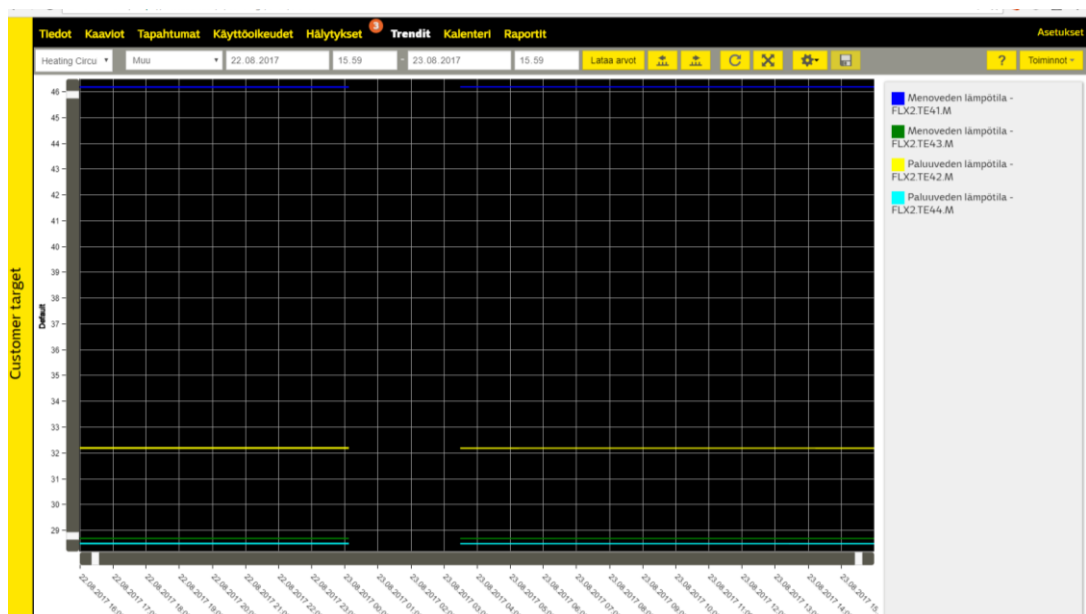
Kuva 10, Ounet ilmanvaihtokone. (8.)

Kuvassa 6 on kuvattuna ilmanvaihtojärjestelmä, josta nähdään, että ilmanvaihtokone on poissa päältä suodattimen tukkeutumisen vuoksi. Järjestelmä on automaattisesti lähettänyt tiedon huoltomiehelle, joka on voinut ryhtyä toimenpiteisiin välittömästi. Näin häiriö jää mahdollisimman lyhyeksi ja asunnoissa saadaan ilmanvaihto päälle nopeasti. Huonosti toimiva ilmanvaihto heikentää asumisolosuhteita. Säättämällä ilmanvaihto toimi-
maan oikeilla tehoilla kulloisenkin tarpeen mukaan parantaa asumisolosuhteita ja lisää rakennuksen energiatehokkuutta. Kiinteistöissä voi ilmanvaihdon osuus energiankulutuksesta olla jopa 50 %. Tästä syystä väärin säädetty ilmanvaihto voi aiheuttaa kiinteistön omistajalle suuria energialaskuja.



Kuva 11, Lämmitysjärjestelmän säätökäyrä. (8.)

Kuvassa 7 on tämän esimerkkijärjestelmän säätökäyrä, jonka perusteella järjestelmä automaattisesti säätää lämmönjakoverkostossa kiertävän veden lämpötilaa ulkolämpötilan muuttuessa.

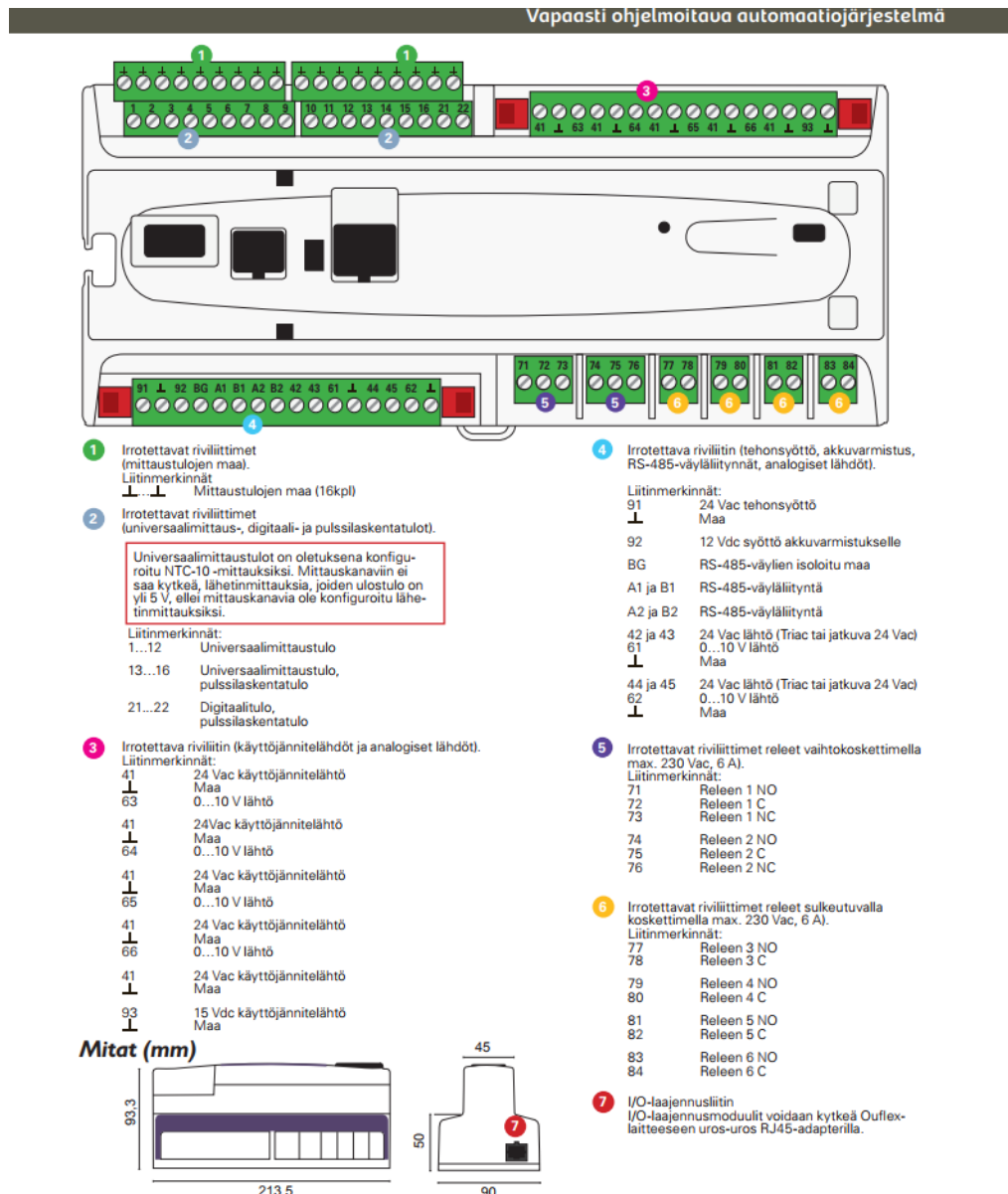


Kuva 12, Trendit. (8.)

Trendit auttavat seuramaan lämmitysverkostossa tapahtuneita muutoksia halutun aikajakson puitteissa. Tämä mahdollistaa kiinteistöhuollolle tehokkaan tavan seurata tehtyjen toimenpiteiden vaikutusta lämmitysjärjestelmään.

6.2 Tekninen kuvaus järjestelmästä

Ohjelmointikeskus (Ouflex) on ohjelmoitava valvonta-, ohjaus- ja säätölaite. Laite on varustettu 34 kpl I/O-pisteitä joita voidaan tarvittaessa laajentaa suuremmille kokonaisuuksille tarpeen mukaan. Lisäksi laitteessa on monipuoliset tiedonsiirto mahdollisuudet, jolloin se on helposti liitettävissä eri taloautomaatiojärjestelmiin ja internetiin. Kuvassa 9 on nähtävissä peruskuvaus eri liitännöistä. (9, s.19.)



Kuva 13, Ouflex-automaatiojärjestelmä(9, s.19.)

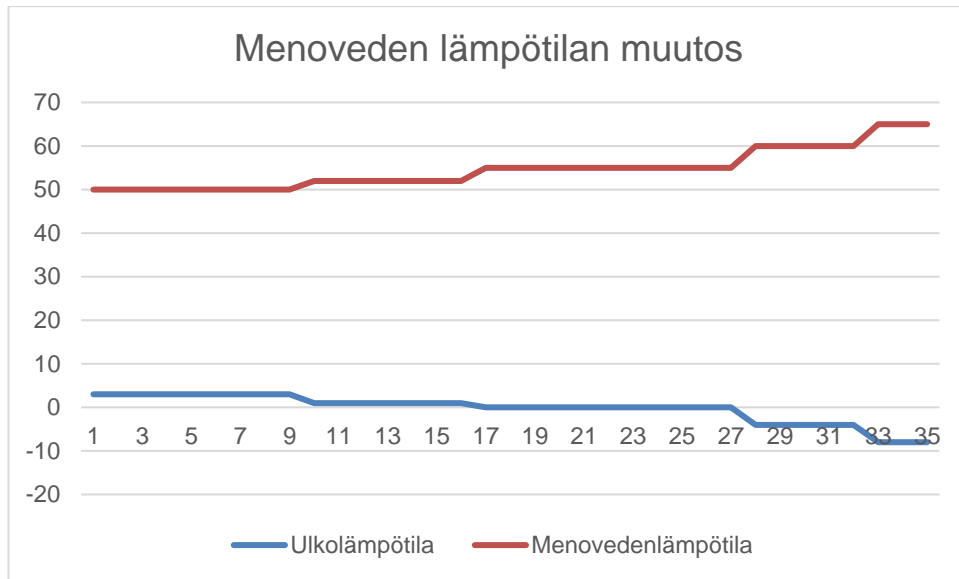
naisuutta tarkasteltuna korkeammalle hinnalle on selvät perusteet ja Arduinon kehityksessä esiin nousseet ongelmat puoltavat myös Ounetin käyttöä. Kappaleessa 5 kuvattu Arduinon toimintaperiaate pätee myöskin Ounetin toimintaan.

7 Mittaustulokset ja niiden hyödyntäminen

Taloyhtiöissä, teollisuuskiinteistöissä ja liiketiloissa on suurelta osin käytössä vanhaa ja hyvin yksinkertaista automatiikkaa ja nykyaikaisia mittausvälineitä hyödynnetään hyvin vähän. Projektin aikana tuli selväksi, että uudelle tekniikalle on paljon kysyntää ja tarvetta. Kiinteistöille yleensä suurin yksittäinen kuluerä on lämmitys ja siihen liittyvät kustannukset. Oikein säädetty ja mitoitettu järjestelmä säästää paitsi rahaa, lisää se myöskin tilojen käyttäjien viihtyvyyttä.

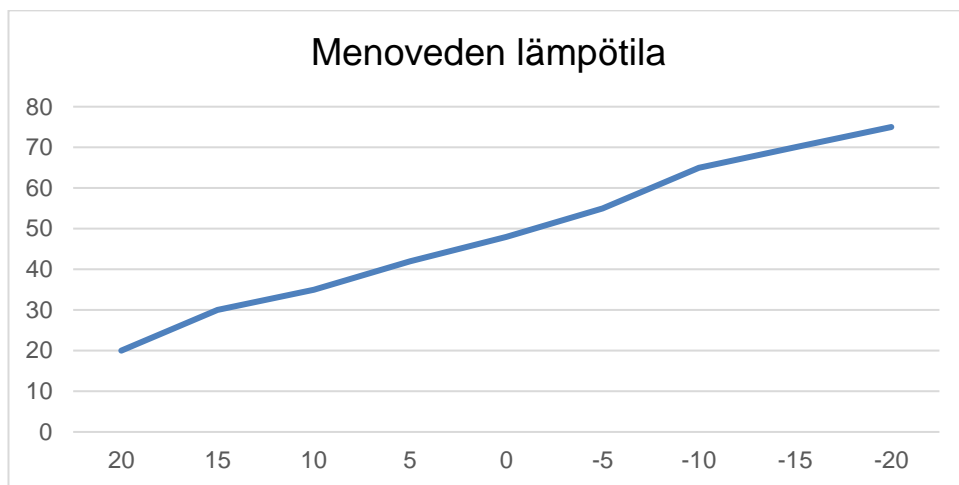
Esimerkkikohteissa oli jo tehty huomattavia energiansäästötoimenpiteitä säätämällä lämmönjakoverkot ja ilmanvaihdot uudestaan ja vastaamaan nykyisten käyttäjien tarpeita.

Asentamalla mittalaitteet kohteisiin voitiin kunkin kiinteistön lämmönkulutusta seurata reaaliajassa ja näin ollen lisätä säästöä. Samalla kiinteistönhoitajilla on parempi kuva kunkin kiinteistön tilanteesta eikä tilanteen seuraaminen edellytä paikalla käyntiä. Lisäksi, koska tietoa voidaan lukea jatkuvasti, voidaan ulkolämpötilan muutosten vaikutusta lämmitystarpeeseen seurata pitkällä aikavälillä. Tämä ominaisuus antaa paljon hyödyllistä lisätietoa kiinteistöhuollolle. Kuvaajista 2 ja 3 näkee, kuinka ulkolämpötilanvaihtelu vaikuttaa verkostossa kiertävän veden lämpötilaan.



Kuvaaja 2, Menoveden lämpötilan muutos suhteessa ulkolämpötilaan.(10.)

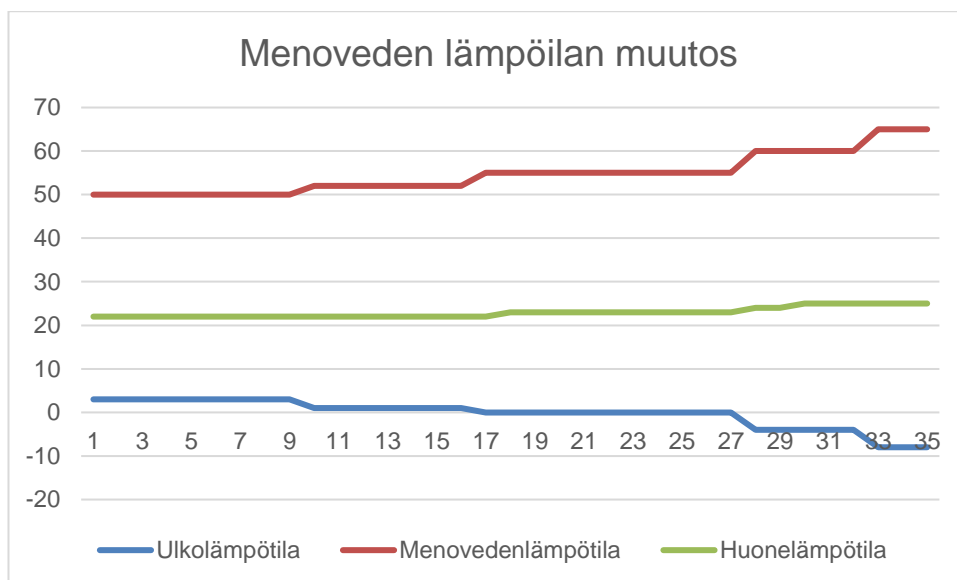
Kun tähän mittaustietoon vielä lisätään sisälämpötilan mittaustieto, voidaan päätellä, onko säätökäyrä oikeissa arvoissa. Säätökäyrällä tarkoitetaan automatiikassa olevia asetus arvoja, jotka asettavat verkoston vedenlämpötilan suhteessa ulkolämpötilaan.



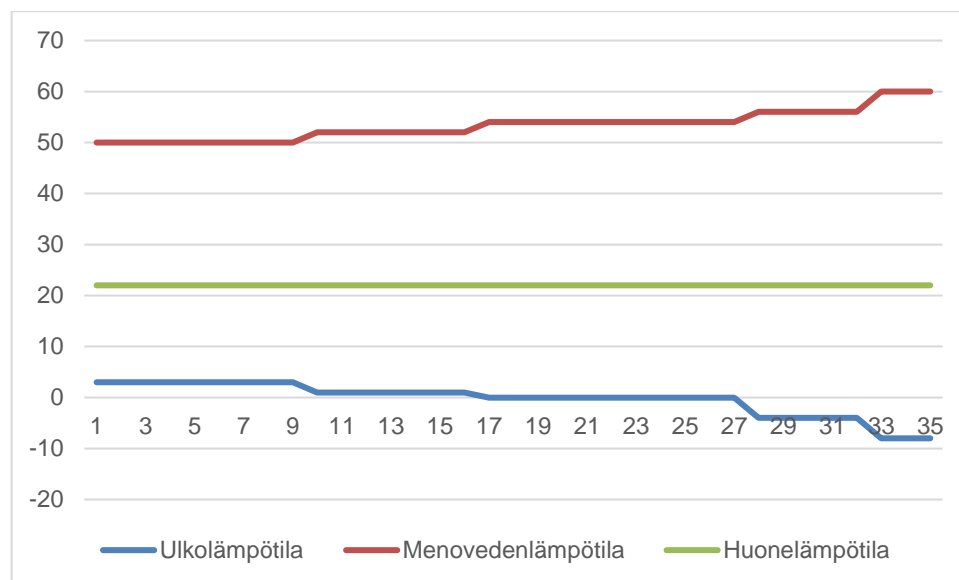
Kuvaaja 3, Esimerkki säätökäyrästä.(10.)

Säätökäyrällä siis määritellään verkostossa kiertävän veden lämpötila. Mikäli lämmönjakoverkko ei ole oikein säädetty ja tasapainossa, on säätökäyrän oikea asettelu hyvin hankalaa ja johtaa yleensä tilojen yllälämmittämiseen. Näistä syistä pitkän ajan seuranta kiinteistön lämmöntuotto- ja jakojärjestelmissä antaa paljon lisätietoa, jotta säädöt voidaan tehdä riittävällä tarkkuudella.

Esimerkkikohteissa asennettiin sekä huonelämpötilaa seuraavia antureita että kytkettiin Ouman modbus- väylää hyödyntäen talon automaatiojärjestelmään. Näiden avulla saatiin paljon tietoa, jonka avulla pystyttiin alentamaan kaikissa kohteissa menovedenlämpötilaa noin 5 °C. Tämä tarkoittaa vuositasolla noin 20 %:n lisäsäästöä.



Kuvaaja 4, Huonelämpötilan muutos ennen tehtyjä säätöjä.



Kuvaaja 5, Huonelämpötila säätöjen jälkeen.

Kuvaajista 4 ja 5 nähdään, että säätökäyrä oli liian jyrkkä ennen tehtyjä mittauksia, mikä johti tilojen yllämmittämiseen ja näin ollen suurempaan energiankulutukseen.

Jatkossa kiinteistönhoitajat voivat seurata ja tarkkailla mahdollisia muutoksia suoraan tietokeen näytöltä ja ryhtyä tarvittaessa toimenpiteisiin jo ennen kuin ongelmia syntyy.

8 Projektin vaiheet

Projektin alkuperäisenä tarkoituksena oli rakentaa Suomen Energiainsinöörit Oy:lle oma etähallintajärjestelmä Arduino-tietokoneen pohjalle. Tarkoitusta varten hankittiin tarvittavat laitteet ja käytiin neuvotteluja Stara Oy:n kanssa jotta saataisiin asentaa heidän kiinteistöihin mallilaitteistoja.

Laitteistoja ohjelmoitaessa ja niitä yhteen sovittaessa nousi kuitenkin esiin, että erityisesti tietoturvan kanssa syntyy paljon ongelmia mikäli asennamme Arduinot heidän kiinteistöihin. Tästä syystä Arduino-järjestelmää ei nähty järkeväksi rakentaa prototyyppiä pidemmälle vaan päädyttiin käyttämään Ouman Oy:n Ounet-järjestelmää. Sammassa yhteydessä päädyttiin siirtymään yhteistyöstä Staran kanssa käyttämään kolme taloyhtiötä, joihin saatiin myytyä Ounet-järjestelmät. Staran kanssa neuvoteltu yhteistyö oli sellainen, jossa kehitys kustannukset ja laitehankinnat olisivat jääneet Suomen Energiainsinöörien vastuulle. Tämän vuoksi päätettiin projektin painopiste siirtää jo olemassa oleviin järjestelmiin.

Koska Ounet-järjestelmä on toisen yrityksen omaisuutta ja sen liikesalaisuuden piirissä on työssä Arduino-tietokonetta käytetty kuvamaan toimintaperiaatetta. Kummassakin järjestelmässä ratkaisut ovat peruseräisyydeltään samankaltaisia.

9 Yhteenveto

Arduino soveltuu monipuolisuutensa ja edullisuutensa ansiosta hyvin käytettäväksi kehitysprojekteissa. Saatavilla olevat valmiit kirjastot ja lukuisat tukisivustot helpottavat huomattavasti ohjelmointia. Kuitenkin näiden valmiiden ohjelmien yhteensovittaminen ja vaakan toiminnan varmistaminen osoittautui erittäin haastavaksi. Lisäksi tietoturva, joilla varmistetaan, ettei kukaan ulkopuolinen pääse käsiksi lämmitysjärjestelmään, osoittautui erittäin vaativaksi. Edellä mainituista syistä päädyttiin luopua kehittämästä uutta järjestelmää vaan päädyttiin käyttämään Ouman Oy:n toimittamaa Ounet-järjestelmää.

Työn aikana markkinoille tuli uusia ratkaisuja, joissa edellä mainitut ongelmat on ratkaistu. Nämä järjestelmät ovat hinnaltaan edullisia, ja näin ollen ei ollut enää mielekästä pyrkiä kehittämään omaa ratkaisua. Vapaasti ostettavissa olevat ja ennakoon hyvin testatut järjestelmät antavat paljon paremman mahdollisuuden liiketoiminnan kehittämiseksi.

Kuitenkin on erittäin hyödyllistä, että ymmärtää syvällisesti, kuinka tämän kaltaiset järjestelmät rakennetaan ja missä kohdissa voi ongelmia syntyä.

Suurissa kiinteistössä olisi hyvä ottaa käyttöön uutta valvontatekniikkaa ja parantaa automaatiota. Tällä hetkellä suurimmassa osassa kiinteistöjä automatiikka on hyvin vanhanaikaista eikä mahdollista uuden tekniikan käyttöönottoa. Kuitenkin säästöpotentiaali on erittäin suuri ja investointien takaisinmaksuaika on vain muutamia vuosia. Kun uusi automatiikka ja säätöjärjestelmä yhdistetään uusiin lämmönsäästöratkaisuihin, saadaan vanhastakin kiinteistöstä energiatehokas ja asumismukavuudeltaan tämän päivän vaatimuksia vastaava.

Lähteet

- 1 Energiankäyttö Suomessa 2015. Verkkodokumentti. Motiva Oy. http://www.motiva.fi/taustatietoa/energian kaytto_suomessa/energian_loppukaytto (luettu 10.1.2017).
- 2 Arduino-tietokone 2016. Verkkodokumentti. Wikipedia. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Arduino> (Luettu 10.1.2017)
- 3 AT-komennot 2015. Verkkojulkaisu. Telit Oy. https://www.sparkfun.com/datasheets/Cellular%20Modules/AT_Commands_Reference_Guide_r0.pdf (luettu 5.10.2017)
- 4 Hayes-komennot 2016. Verkkodokumentti. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Hayes_command_set (Luettu 5.4.2017)
- 5 Modbus 2016. Verkkodokumentti. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Modbus> (luettu 5.10.2017)
- 6 Ouman Oy 2016. Verkkosivut. Ouman Oy. <http://ouman.fi/yritys/> (luettu 5.10.2017)
- 7 Esineiden interneti 2016. Verkkodokumentti. Wikipedia. https://fi.wikipedia.org/wiki/Esineiden_internet (luettu 5.10.2017)
- 8 Ouman Ounet. Verkkosivut. Ouman Oy. <https://www.ounet.fi/#/login> (Vaati rekisteröitymisen)
- 9 Ouman Ouflex. Verkkodokumentti. Ouman Oy. http://ouman.fi/documentbank/Ouflex__manual__fi.pdf?x57655 (luettu 5.10.2017)
- 10 Lämmityskäyrä. Verkkosijulkaisu. Motiva Oy. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/lahtotilanteeseen_tutustuminen/lammituksen_saatokayra_ja_lampiman_kayttoveden_oikea_lampotila (Luettu 21.10.2017)

Tietojen lukeminen ja tallentaminen

Tämä ohjelma lukee tiedot sensoreilta ja tallentaa ne muistikortille csv- tiedostoon.

```
#include <SD.h> //muistikortin kirjastot
#include <SPI.h> //muistikortin kirjastot
#include <math.h>

int sensorPin = A5; // valittu pinni josta luetaan dataa
double Thermistor(int RawADC) {
    double temp;
    temp = log(10000.0*((1024.0/RawADC-1)));
    temp = 1 / (0.001129148 + (0.000234125 + (0.0000000876741 * temp * temp ))* temp
);
    temp = temp - 273.15;          //Muuntaa Kelvinit Celciuksiksi
    return temp;
}

int sensorPin2 = A4; // valittu pinni josta luetaan dataa
double Thermistor2(int RawADC) {
    double temp2;
    temp2 = log(10000.0*((1024.0/RawADC-1)));
    temp2 = 1 / (0.001129148 + (0.000234125 + (0.0000000876741 * temp2 * temp2 ))*
temp2 );
    temp2 = temp2 - 273.15;        // /Muuntaa Kelvinit Celciuksiksi
    return temp2;
}

File logs; //muuttuja joka talentaa tietoja
int number = 0; //muuttuja joka määrittää monesko kirjaus on menossa csv tiedostossa
void setup(void)
{
    // aukaisee sarjaportin
    Serial.begin(19200);
    SD.begin(4);
    // avaa kirjaston
} // void setup loppu
```

```
void loop(void)
{
  int readVal=analogRead(sensorPin);
  double temp = Thermistor(readVal);
  readVal=analogRead(sensorPin2);
  double temp2 = Thermistor2(readVal);
  Serial.println(temp);
  Serial.println(temp2);
  logs = SD.open("logs.csv", FILE_WRITE); //määrittää tiedoston johon tietoa
tallennetaan
  if(logs) //jos tiedoston avaaminen onnistui
  {
    if (number == 0)
      logs.println("sep="); //tämä tarvitaan uusiin excelin versioihin (2013 ja uudemmat)
      //sitten lisätään monesko kirjaus ja luettu tieto
      logs.print(number);
      logs.print(",");
      logs.print(temp); //luetaan lämpötila tieto
      logs.print(",");
      logs.print(temp2); //lämpötila 2 tieto
      logs.print(",");
      Serial.println("Saving successful");
      logs.close();//we close and save the file
    }
    delay(30000); // luetaan joka 5 minuutti
    //delay(60000);
    //delay(2000);
    number = number + 1; // lisätään laskuriin 1

  }
```

Ohjelma joka lähettää tiedot virtuaalipalvelimelle

Tällä ohjelmalla lähetetään tiedot Ubidots virtuaalipalvelimelle GPRS -modeemilla.

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <String.h>
SoftwareSerial mySerial(7, 8);
int valor;
String token = "gN97wTXW22qC5nP9tJpxwulGLmuyWf"; //Ubidots avain
String idvariable = "588787fa76254260ec517c38"; //Muuttujan
tunniste
void setup()
{

    mySerial.begin(19200); //GPRS yhteyden nopeus
    Serial.begin(19200); //sarjaportin nopeus
    delay(10000);
}

//tämä toiminto lähettää luetut tiedot Ubidots palvelimelle
void save_value(String value)
{
    int num;
    String le;
    String var;
    var="{\"value\":\"+ value + \"}";
    num=var.length();
    le=String(num);
    for(int i = 0;i<7;i++)
    {
        mySerial.println("AT+CGATT?");
        delay(2000);
        ShowSerialData();
    }
}
```



```
mySerial.println("AT+CSTT=\"data.dna.fi\"");           //APN asetukset
delay(1000);
ShowSerialData();
mySerial.println("AT+CIICR");                         //käynnistää langattoman
yhteyden
delay(3000);
ShowSerialData();
mySerial.println("AT+CIFSR");                         //Hakee IP osoitteen
delay(2000);
ShowSerialData();
mySerial.println("AT+CIPSPRT=0");
delay(3000);
ShowSerialData();
mySerial.println("AT+CIPSTART=\"tcp\", \"things.ubidots.com\", \"80\""); //käyn-
nistää yhteyden palvelimelle
delay(3000);
ShowSerialData();
mySerial.println("AT+CIPSEND");                       //aloittaa lähetyksen
palvelimelle
delay(3000);
ShowSerialData();
mySerial.print("POST /api/v1.6/variables/" + idvariable);
delay(100);
ShowSerialData();
mySerial.println("/values HTTP/1.1");
delay(100);
ShowSerialData();
mySerial.println("Content-Type: application/json");
delay(100);
ShowSerialData();
mySerial.println("Content-Length: " + le);
delay(100);
ShowSerialData();
mySerial.print("X-Auth-Token: ");
delay(100);
```

```
ShowSerialData();
mySerial.println(token);
delay(100);
ShowSerialData();
mySerial.println("Host: things.ubidots.com");
delay(100);
ShowSerialData();
mySerial.println();
delay(100);
ShowSerialData();
mySerial.println(var);
delay(100);
ShowSerialData();
mySerial.println();
delay(100);
ShowSerialData();
mySerial.println((char)26);
delay(7000);
mySerial.println();
ShowSerialData();
mySerial.println("AT+CIPCLOSE");           //sulkee yhteyden
delay(1000);
ShowSerialData();
}

void ShowSerialData()
{
  while(mySerial.available()!=0)
    Serial.write(mySerial.read());
}
```

Esimerkki toimenpidesuunnitelmasta

Alustus ja yhteystiedot

Yritys Oy (jäljempänä Yritys) on saanut toimeksiannon suorittaa lämmitystapamuutoksen vertailutyö Asunto Oy (jäljempänä Asiakas). Vertailutyö perustuu Asiakkaalta saatuihin tietoihin, kohdekäynnin aikana tehtyihin havaintoihin sekä saatuihin hinta- ja kulutustietoihin. Raportissa esitetään eri lämmitystaparatkaisujen soveltuvuus ja kannattavuusvertailu suhteessa toisiinsa. Vertailussa tutkitaan kaukolämmön, maalämmön, maa- ja poistoilmalämmön yhdistelmää sekä verrataan kannattavuuksia. Lämmitystapavertailun tavoitteena on tuottaa taloyhtiölle puolueetonta informaatiota eri vaihtoehtojen keskinäisestä kannattavuudesta, jotta taloyhtiö voi tehdä periaatepäätöksiä jatkon toimenpiteistä. Yritys noudatta KSE 2013 sopimusehtoja.

Perustietoja ja laskelmien lähtökohta-arvoja

Asiakas omistaa omalla tontilla sijaitsevan vuonna 1963 valmistuneen kerrostaloyhtiön. Nykyinen lämmitysmuoto on kaukolämpö. Kaukolämpö tuotetaan taloyhtiöiden yhdessä omistaman Huolto Oy:n kautta. Uudessa asemakaavassa tämän kiinteistön tilalle ollaan rakentamassa uutta kerrostaloa ja näin ollen taloyhtiön on muutettava nykyistä lämmön tuottojärjestelmäänsä. Asuinhuoneistoja on 24 kpl, kolmessa erillisessä talossa (A-C). Jokaisessa talossa on poistoilmalle oma keskitetty poistoilmapuhallin. Lämmönjako tapahtuu B-talon kellarissa sijaitsevan lämmönjakohuoneen kautta.

Vertailulaskelmissa käytetyistä arvoista

Alla lähtöarvoja, joita on käytetty pohjana alustavassa mitoitus- ja kannattavuuslaskelmassa. Arvot on saatu Yritykselle toimitetuista taloyhtiön dokumenteista tai selvitetty erikseen. Kaikki tässä raportissa esitetyt hinnat sisältävät alv 24 %.

Lämmön kulutus on ollut n. 550MWh/v kaukolämpöä. On ollut myös lauhempia vuosia, mutta tässä vertailussa on käytetty mitoitusarvona neljän edellisen vuoden keskiarvoa.

Kaukolämmön vuosilaskutus nykyhinnoilla 550 MWh mukaan laskettuna on luokkaa 42.450 €/v.

Taloyhtiön sähkö: sis. siirto, verot, sähköenergia on n. 11,06 c/kWh (ilman perusmaksuja).

Jos siirrytään lämpöpumppujärjestelmään, tarvitaan maalämpöjärjestelmälle 3x200 A uusi ryhmäkeskus ja maa- ja poistoilmajärjestelmälle 3x160 A ryhmäkeskus. Yli 63 A sähköliittymissä siirrytään sähköyhtiön osalta nk. tehomaksuhinnoitteluun: Tällöin taloyhtiöltä peritään melko korkeata perusmaksua ja nk. tehomaksua. Vastaavasti sähkön siirtomaksu laskee hieman. Tällöin sähkön maksut (siirto, verot, sähkö) ilman perus/tehomaksuja tulisivat olemaan maalämmön käyttöpaikassa n. 100,90 €/MWh. Yksikköhintaa voidaan kuitenkin edelleen alentaa yli 5 % kilpailuttamalla käytetyn sähköenergian hinta. Siirtomaksuja ei voida valitettavasti ainakaan nykyisin kilpailuttaa. Teholiittymän perusmaksu- ja tehomaksut esitetään tarkemmin kannattavuus- osiossa.

Kaukolämpötarjouksen mukaisesti nk. tehomaksu olisi vuodessa 6.227 €/v ja käytetyn kaukolämmön keskimääräinen yksikköhinta 65,84 €/MWh. Tällöin perusmaksu huomioon ottaen olisi kulutukseen suhteutettu kaukolämmön hinta n. 77,15 €/MWh.

Maalämmön, maa- ja poistoilmalämmön sekä kaukolämmön investointikustannukset käsitellään jatkossa erikseen esitetyissä kappaleissa.

Eri lämmöntuotto järjestelmien soveltuvuus kohteeseen

Maalämmön soveltuvuus kohteeseen (porauskenttä ja lämmön-jakohuone)

Tarvittava porauskenttä saadaan mahtumaan Asiakkaan tontille helposti ja riittävästi hajautettuna. Lämpökaivot voidaan sijoittaa alueelle myös siten, että niitä ei tarvitse asemoida asfalttialueille, jolloin syntyisi ylimääräisiä kustannuksia asfaltin leikkaamisesta ja myöhemmistä paikkausasfalttoinneista. Porausluvan saamiselle Kaupungilta ei ole tietävästi esteitä.

Oikein suunnitellulla porauskentällä porareikien etäisyydet saadaan ainakin käytettävissä olevan pinta-alan osalta riittävän kauas toisistaan, jotta lämpökaivot eivät juuri vaikuta toisiinsa, kun kallioperään sitoutunutta lämpöä kerätään monien vuosien aikana.

Poraushintoihin sisältyy yleisesti 3 m nk. teräspankki/maaporausta. Maaporauksella tarkoitetaan reiän alkuun porattavaa teräspankkaa, joka ulotetaan noin kaksi metriä kiinteään kalliopinnan sisään. Maaporaus on aina suoritettava siksi, etteivät pintavedet pääse sekoittumaan pohjaveteen. Ylimääräisestä (yli 3 m) maaporauksesta peritään n. 60 €/m lisähinta. Tontilla kallio on pinnassa paikoin jopa näkyvässä, näin ollen maaporauksesta ei ole odotettavissa juurikaan lisäkustannuksia. Toisaalta pinnassa oleva kallio voi vaatia siirtoputkien osalta joko louhintaa taikka maantäyttöjä. Näistä aiheutuviin lisäkustannuksiin on hyvä varautua.

Varsinainen poraussuunnitelma tehdään yleensä sen jälkeen, kun toteutuksen urakoitsija on valittu. Tällöin merkitään maastoon talon putkilinjat ja kaapeloinnit sekä suunniteltujen porareikien paikat ja keruuputkistojen linjat. Lisäksi poraus- ja vaakapiirialue peilataan vielä erikseen, jotta välttyttäisiin kaapeli- tai putkistorikoilta.

Porareikien väliset lämmönkeruunesteen kokoojaputkistot kaivetaan 0,5–0,7 m syvyyteen ja ne yhdistetään kokoojakaivossa jakotukkiin, josta lämmönkeruunesteen meno- ja tuloputki johdetaan läpiviennin kautta lämmönjakohuoneeseen.

Taloyhtiön lämmönjakohuone ja sähköpääkeskus sijaitsevat B-talon kellarissa.

Lämmönjakohuone on riittävän tilava, jolloin tarvittavat lämpöpumppulaitteistot saadaan mahtumaan sinne.

Maa- ja poistoilman lämmöntalteenotto (LTO) soveltuvuus kohteeseen

Maalämmönosalta edellä mainitut asiat pätevät myöskin tässä ratkaisussa.

Lämmöntalteenotto perustuu katolle asennettaviin huippuimureihin ja niihin yhdistettyihin lämmönvaihtimiin. Tarkoituksena on siis palauttaa poistoilmassa oleva lämpöenergia takaisin lattialämmitysverkkoon ja lämpimään käyttöveteen.

Taloyhtiön nykyiset huippuimurit ovat 60-luvulta ja tekniikaltaan vanhanaikaisia. Uuden aikaiset EC-puhaltimet ovat energiatehokkaita ja hiljaisia. Tehokkailla nykyaikaisilla puhaltimilla saadaan ilmavaihtoa tehostettua ja näin sisäilman laatua parannettua.

Yhdistämällä lämmöntalteenotto maalämpöön voidaan porakaivojen määrää vähentää ja lämpöpumpun hyötysuhdetta parantaa.

Teknisesti lämmöntalteenoton ja maalämmön yhdistämiselle kohteessa ei ole tiedossa olevia esteitä. Taloudellista kannattavuutta tarkastellaan raportissa myöhemmin.

Mikäli poistoilmavirrat ovat verrattain pieniä voi investoinnin takaisinmaksuaika kasva kohtuuttoman pitkäksi

Nykyiset automaattioratkaisut mahdollistavat ilmanvaihdon ja lämmityksen tehokkaan valvonnan ja optimoimisen, jolla saavutetaan säästöjä vaihtamalla ilmaa oikea-aikaisesti ja asuntojen yllämmittämistä voidaan merkittävästi vähentää.

Alustavat mitoitukset eri vaihtoehdoille

Taloyhtiön nykyinen lämmitys ja ilmanvaihto

Yhtiössä on vuosina 2013 - 2016 kulunut lämmitykseen ja lämpimään käyttövedeen energiaa noin 550 MWh.

Veden kulutus on ollut noin 1900 m³/vuodessa, tyypillisesti lämpimänkäyttöveden osuus on noin 30 %, jolloin sen osuus taloyhtiössä olisi 570 m³/vuodessa. Näin laskettuna lämpimän käyttöveden osuus energiankulutuksesta on noin 120 MWh/vuodessa.

Edellä mainituilla tiedoilla, laskettu lämmitystehontarve on noin 190 kW.

Ilmanvaihdon todellinen määrä olisi hyvä tarkistaa mittaamalla suunnittelun yhteydessä. Vanhojen piirustusten mukaan talojen yhteenlaskettu ilmanvaihto on 1000 l/s, tehostus jaksoista ei ole varmaa tietoa, mutta oletuksena käytetään tyypillisiä arvoja 2 h aamulla ja 2 h iltapäivällä. Näin laskettuna keskimääräinen ilmanvaihto on 1167 l/s.

Taloyhtiön nykyinen sähköliittymä

Nykyisen sähköpääkeskuksen pääsulakkeet ovat kooltaan 3 x 100 A. Nykyinen liittymä-oikeus on 3x160 A

Taloyhtiön syöttökaapeli on sähköyhtiöltä saadun tiedon mukaisesti MCMK 3 x 95 + 50.

Nykyiset kaapelit kestävät sähköyhtiön mukaan ilman kaapelivaihdosta 3x200 A virran.

Mahdollinen lämpöpumppuratkaisu tarvitsee uuden 3 x 200 A (Maalämpö) tai 3 x 160 A (maalämpö+ LTO) ryhmäkeskuksen ja käyttöpaikan lämmönjakohuoneeseen.

Lämpöpumppujärjestelmää varten tarvitsee tehdä alustavan tiedon mukaan taloyhtiön sähköliittymän korotus. Yrityksen tekemän selvityksen ja sähköyhtiöltä saadun tiedon pohjalta taloyhtiön syöttökaapeleiden maksimikuormitusvirta on 45 A. Lämpöpumppujärjestelmään voidaan asentaa myös nk. tehovahti.

Sähköyhtiön hinnaston mukainen kustannus liittymän korotuksesta 12 090,00 € (3 x 200 A) tai 9670,00 € (3 x 160 A). Tarkemman suunnittelun yhteydessä voi tämä tarve hieman laskea, jolloin investoinnit myöskin pienenevät.

Alustavasti suunniteltu energiansäästöratkaisu maalämmöllä

Alustavasti mitoitettun energian säästöratkaisun sisältö pääpiirteissään

Maalämpöpumppu/pumput nimellisteholtaan yhteensä n. 160 kW.

Lämminvesivaraajat yhteensä n. 1.000 litraa.

Oheislaitteet, mm. kiertovesipumput, kalvopaisunta-astia uusitaan tarvittaessa. Maalämmön kiertopumppu ym. oheistarvikkeet sisältyvät toimitukseen.

Sähkökattila, vara/lisälämpö n. 40 kW.

Energiakaivot yhteissyvyys n. 3.350 m, 14 - 15 lämpökaivoa.

Uusi sähkön 3 x 200 A mittaus- ja ryhmäkeskus lämmönjakohuoneeseen.

Mikäli valitaan tämä vaihtoehto kannattaa harkita alojen välisten lämpökanaalien uusimista samassa yhteydessä.

Alustavasti suunniteltu energiansäästöratkaisu maa- ja poistoimalämmöllä

Alustavasti mitoitettun energian säästöratkaisun sisältö pääpiirteissään

Lämpöpumppu/pumput nimellisteholtaan yhteensä n. 180 kW.

Lämminvesivaraajat yhteensä n. 1.000 litraa.

Oheislaitteet, mm. kiertovesipumput, kalvopaisunta-astia uusitaan tarvittaessa. Maa-lämmön kiertopumppu ym. muut oheistarvikkeet sisältyvät toimitukseen.

Sähkökattila/vastukset, vara/lisälämpö n. 20 kW.

Energiakaivot yhteissyvyys n. 2.750 m, 10 - 11 lämpökaivoa.

Uusi sähkön 3 x 160 A mittaus- ja ryhmäkeskus lämmönjakohuoneeseen.

Alustavasti suunniteltu kaukolämpöratkaisu

Alustavasti mitoitettun kaukolämmön sisältö pääpiirteissään

Kaukolämmön mitoitusteho n. 193 kW

Oheislaitteet, mm. kiertovesipumput, kalvopaisunta-astia uusitaan tarvittaessa.

Kaukolämmön valinta ei aiheuta muutoksia nykyiseen sähkön käyttöön, joten lämmityksen osalta sähkökeskusta ei tarvitse muuttaa.

Mikäli yhtiö valitsee kaukolämmön tuo kaukolämpöyhtiö kaukolämpöputket nykyiseen B-talossa sijaitsevaan lämmönjakohuoneeseen. Samaiseen tilaan asennetaan uusi kaukolämpökeskus, josta lämpö jaetaan olemassa olevia kanaaleja pitkin A- ja C-taloon.

Muuta huomioitavaa

Taloyhtiön lämmönjakojärjestelmässä on ollut häiriöitä ainakin siten, että huoneisto-lämpötila on ollut joissain asunnoissa paljon korkeampi kuin toisissa. Samoin nykyinen lattialämmityksien menoveden lämpötila on ollut suhteettoman korkea.

Em. tulisi tutkia joka tapauksessa tarkemmin; tehdään sitten muutoksia lämmitystapaan tai ei.

Lämmönjakoverkoston kunnostustöiden kustannuksia ei ole arvioitu eikä otettu mukaan nyt esitettävässä lämmitystapavertailussa.

Maalämpö-, maa- ja poistoilmanlämpö- sekä kaukolämpöinvestointien suuruudet (huom! säästöarviot €/v huomioimatta investointikustannuksia)

Maalämmön säästöinvestoinnin kustannus

Taloyhtiöllä oli pyydettyä ulkopuoliselta maalämpöurakoitsijalta edellä kuvatun maalämpöratkaisun mukainen tarjous vertailuhinnaksi, kun arvioidaan maalämpöratkaisun kannattavuutta suhteessa muihin ratkaisuihin.

Saadun alustavan kokonaisurakkatarjouksen hinta on n. 230.000€ (sis alv).

Urakkahinta pitää sisällään kaikki laitekustannukset oheislaitteineen, koontipiirit ja energiakaivot, asennustyöt, kaivu- täyttö- ja jälkityöt sekä myös sähkötyöt kytkentöineen. Lisäksi kustannuksiin sisältyy järjestelmän etäohjaus, käyttöönotto-opastus ja takuu 2v. Teräs/maaporauksen lisämetreistä (yli 3m) veloitetaan erikseen yksikköhintojen mukaisesti.

Maalämmön säästö, ensimmäinen vuosi

Maalämpöjärjestelmän tuottama energia on n. 550 MWh/v. Edellä esitytetyn järjestelmän energianpeittoaste on n. 99 %, mikä vastaa tavoitetta, sillä isompia kiinteistökohteita ei kannata mitoittaa investointikustannussyistä aivan 100 %:iin. Kovimmilla pakkasilla (-26°C tai vähän yli) lisätehon tarve olisi laskelman mukaan max. n. 40 kW, joka saadaan tarvittaessa tuotettua sähkökattilalla ja varaajien lisävastuksilla.

Maasta saatava ilmaisenergia olisi n. 387MWh/v. Lämpöpumppujärjestelmän käyttämä sähkö, jonka lämpö saadaan hyödynnettyä lämmityksessä + lisälämmitys ovat yhteensä n. 163MWh, jolloin ollaan tasapainossa mitoitusvuosikulutuksen 550MWh mukaisesti.

Säästölaskelma on laadittu siten, että on verrattu käyttökustannuksia ennen investointia ja sen jälkeen vuoden aikajaksoilla.

Maalämpöasennuksien jälkeen kaukolämpökustannukset jäävät pois ja uuden lämpöpumppujärjestelmän sähkökustannukset 550MWh/v tuottamiseksi ovat laskennallisesti sähkön perus- + tehomaksu yht. vuodessa 2.700€ + lämpöpumppujärjestelmän kuluttama sähkö ja lisälämpö yht. 16.500€/v. Maalämpöjärjestelmän laskennalliset kokonaiskustannukset olisivat 19.200€/v

Maa- ja poistoilmanlämmön säästöinvestoinnin kustannus

Taloyhtiöllä oli pyydettyä ulkopuoliselta lämpöpumppu-urakoitsijalta edellä kuvatun lämpöpumppuratkaisun mukainen tarjous vertailuhinnaksi, kun arvioidaan lämpö-pumppuratkaisun kannattavuutta suhteessa muihin ratkaisuihin.

Saadun alustavan kokonaisurakkatarjouksen hinta on n. 292.000 € (sis. alv).

Urakkahinta pitää sisällään kaikki laitekustannukset oheislaitteineen, koontipiirit ja energiakaivot, huippumurit, asennustyöt, kaivuu- täyttö- ja jälkityöt sekä myös sähkötyöt kyt-kentöineen. Lisäksi kustannuksiin sisältyy järjestelmän etäohjaus, käyttöönotto-opastus ja takuu 2v. Teräs/maaporauksen lisämetreistä (yli 3m) veloitetaan erikseen yksikköhintojen mukaisesti.

Maa- ja poistoilmalämmön säästö, ensimmäinen vuosi

Lämpöpumppujärjestelmän tuottama energia on n. 550 MWh/v. Edellä esitytetyn järjestelmän energianpeittoaste on n. 99 %, mikä vastaa tavoitetta, sillä isompia kiinteistökohteita ei kannata mitoittaa investointikustannussyistä aivan 100 %:iin. Kovimmilla pakkasilla (- 26° C tai vähän yli) lisätehon tarve olisi laskelman mukaan max. n. 20 kW, joka saadaan tarvittaessa tuotettua sähkökattilalla ja varaajien lisävastuksilla.

Maasta ja poistoilmasta saatava ilmaisenenergia olisi n. 394 MWh/v. Lämpöpumppujärjestelmän käyttämä sähkö, jonka lämpö saadaan hyödynnettyä lämmityksessä + lisälämmitys ovat yhteensä n. 156 MWh, jolloin ollaan tasapainossa mitoitusvuosikulutuksen 550 MWh mukaisesti.

Maa- ja poistoilmalämpöasennuksien jälkeen kaukolämpökustannukset jäävät pois ja uuden lämpöpumppujärjestelmän sähkökustannukset 550MWh/v tuottamiseksi ovat laskennallisesti sähkön perus- + tehomaksu yht. vuodessa 2.700€ + lämpöpumppujärjestelmän kuluttama sähkö ja lisälämpö yht. 15.750€/v. lämpöpumppujärjestelmän laskennalliset kokonaiskustannukset olisivat 18.450€/v

Kaukolämpöinvestoinnin kustannus

Kaukolämpöyhtiön 15.3.2017 tekemä budjettitarjouksen mukainen investointihinta olisi seuraava (sis. alv):

Liittymiskustannus 15.500 €.

Uusi lämmönvaihdin asennettuna 20.000 €

Yhteensä 35.500 €

Kaukolämmön hinnaksi on määritelty kaukolämpöyhtiöltä saadun tarjouksen mukaisesti 77,15 €/MWh (sis. perusmaksu/kk + energiamaksu). Nykyisellä energiankulutuksella lämmityskustannukset ovat näin ollen vuodessa 42 450 €. Kaukolämpöyhtiön arvio lämmitysenergian kulutuksesta on huomattavasti alhaisempi 32 000 kWh, kuin tähän asti toteutunut. Laskelmat on kuitenkin tehty nykyisillä energiankulutuksilla.

Kannattavuusvertailu eri vaihtoehtojen kesken pidemmällä aikavälillä investointikustannukset huomioiden

Seuraavan taulukossa on lähtö-oletuksena se, että taloyhtiö ottaa annuiteettilainan 15 vuodeksi 2 % korolla. Vuotuiseksi hinnannousuksi sekä sähkön että kaukolämmön osalta on määritetty 2 %/v.

	Maa- lämpö €	Maa- ja poistoilman- lämpö €	Kauko- lämpö €
Investointi(sis. Sähköliittymän korotuksen)	242,090	301,670	35,500
Käyttökustannukset + korko 1. vuosi	23,719	24,081	43,113
Käyttökustannukset + korko 2. vuosi	23,780	24,048	43,914
Käyttökustannukset + korko 3. vuosi	23,849	24,022	44,733
Käyttökustannukset + korko 4. vuosi	23,926	24,004	45,569
Käyttökustannukset + korko 5. vuosi	24,011	23,993	46,423
Käyttö- ja investointikustannukset yhteensä 5v	361,375	421,818	259,252
Käyttökustannukset + korko 6. vuosi	24,103	23,990	47,294
Käyttökustannukset + korko 7. vuosi	24,205	23,996	48,184
Käyttökustannukset + korko 8. vuosi	24,314	24,009	49,093
Käyttökustannukset + korko 9. vuosi	24,433	24,030	50,021
Käyttökustannukset + korko 10. vuosi	24,560	24,061	50,968
Käyttö- ja investointikustannukset yhteensä 10v	482,989	541,904	504,812
Käyttökustannukset + korko 11. vuosi	24,696	24,099	51,936
Käyttökustannukset + korko 12. vuosi	24,841	24,147	52,923
Käyttökustannukset + korko 13. vuosi	24,996	24,204	53,932
Käyttökustannukset + korko 14. vuosi	25,160	24,269	54,961
Käyttökustannukset + korko 15. vuosi	25,334	24,344	56,012
Käyttö- ja investointikustannukset yhteensä 15v	608,016	662,967	774,576

Kaukolämmön kannattavuus

Nykyiset lämmityskulut 550 MWh:n kaukolämmönkulutuksella ovat n. 42.450 €/v. Kun investointikustannus olisi luokkaa 35.500 € tulee kaukolämpö edullisimmaksi lyhyellä tarkastelujaksolla.

Maalämmön kannattavuus

Maalämmön arvioidut investointikustannukset ovat n. 230.000 € ja sähköliittymän korotus 12.090 €, lämmityskustannusten ollessa noin 19.200 €.

Vaikka maalämpöinvestointi on paljon suurempi kuin kaukolämmön, voidaan maalämmöllä saavuttaa paljon suuremmat säästöt vuodessa kuin kaukolämmöllä. Näin ollen pidemmällä tarkastelujaksolla on maalämpö edullisempi. Leikkauspiste jossa maalämpöinvestointi huomioiden on edullisempi, löytyy noin 10 vuoden kohdalla.

Maa- ja poistoilmalämmön kannattavuus

Maa- ja poistoilmalämmön arvioidut investointikustannukset ovat n. 292.000 € ja sähköliittymän korotus 9.670 €, lämmityskustannusten ollessa noin 18.450 €.

Verrattuna kaukolämpöön on maa- ja poistoilmalämpöinvestointi paljon suurempi, kuitenkin voidaan maa- ja poistoilmalämmöllä saavuttaa paljon suuremmat säästöt vuodessa. Näin ollen pidemmällä tarkastelujaksolla on maalämpö edullisempi. Leikkauspiste jossa maa- ja poistoilmalämpö on kaukolämpöä edullisempi investointi huomioiden, löytyy noin 12 vuoden kohdalla.

Verrattuna maalämpöratkaisuun on yhdistelmäratkaisu 15 vuoden tarkastelujaksolla kalliimpi. On kuitenkin huomioitava, että yhdistelmäratkaisun yhteydessä yhtiö saa uudet ja nykyaikaiset poistoilmapuhaltimet. Tämä tarkoittaa parempaa ilmanvaihdon hallintaa. Lisäksi uudet puhaltimet kuluttavat vähemmän energiaa.

Muuta huomioitavaa

Mikäli yhtiössä ollaan aikeissa uusia huippuimureita tulisi niiden investointi kustannukset lisätä sekä kaukolämpö- että maalämpöratkaisuun.

Laskelmissa ei ole huomioitu huoltokustannuksia, mutta ne ovat samankaltaiset kaikissa lämmöntuottojärjestelmissä. Vaihdeettavia osia ovat lähinnä kiertovesipumput, kalvopaisunta-astiat, ym.

Johtopäätökset sekä järjestelmien elinkaaresta ja huolto-kustannuksista

Jos Asiakas katsoo säästöinvestointia esim. 15 v aikajaksolla, on maalämpöratkaisu ehdottomasti kannattavin lämmitysmuoto pidemmällä aikajänteellä sisältäen investointikustannuksien kuoletuksen; verrataan asiaa sitten maa- ja poistoilmalämpöön tai kaukolämpöön.

Vaikka edellä kuvatut laskelmat ovat pelkästään suuntaa antavia, lienee kuitenkin selvää, ettei mahdollisen maalämpöinvestoinnin johdosta taloyhtiön kokonaisvastiketta (rahoitus + hoito) tarvitse nostaa, jos lainan kuoletusajaksi valitaan esim. 15 v.

Päinvastoin kokonaisvastiketta voidaan alentaa, ellei saavutetuilla lämmityssäästöillä haluta maksaa lainan korojen ja vuosilyhennysten jälkeen jotain muita taloyhtiön tulevia ylimää räisiä korjaus- tms. kuluja.

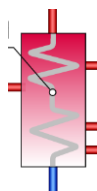
Maalämpöratkaisu lämmitysmuotona korottaa kiinteistövälittäjien mukaan asuntojen arvoja ja haluttavuutta verrattuna siihen, että käytössä olisi kaukolämmitteinen lämmitysmuoto.

Laitteistojen elinkaari on sekä maalämmössä, maa- ja poistoilmalämmössä että kaukolämmössä yli 20 vuotta. Energiakaivojen (melkein puolet investoinnista) elinkaari on luokkaa 100 vuotta.

Lämpöpumpuissa oikeastaan kompressorin on ainoa kalliimpi osa (n. 3.000 €), jonka voi joutua vuosien varrella vaihtamaan. Lämpöpumppujen huoltokustannukset ovat etäval-

vonnan kautta minimaaliset vuodessa. Käyttöönoton yhteydessä talon huoltomies/miehet koulutetaan tyhjentämään lämpöpumppujen mutapussit (alun jälkeen kerran tai kaksi vuodessa, n. 15 min per kerta).

Kuvissa 5 ja 6 olevat symbolit



Lämmönvaihdin



Kiertovesipumppu



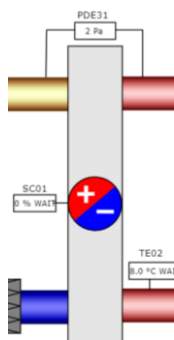
Lämmitysverkosto



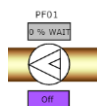
Kalvopaisunta-astia



Lämpötilanmittaus



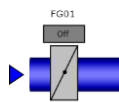
Lämmöntalteenottokenno



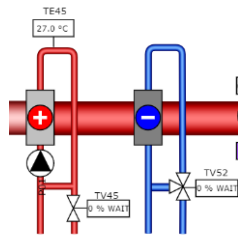
Puhallin



Ilmansuodatin



Sulkupelti



Jälkilämmitys/-jäähdytys